

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-287756

(43)Date of publication of application : 31.10.1995

(51)Int.Cl. G06T 7/00

(21)Application number : 06-317279

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD

(22)Date of filing : 20.12.1994

(72)Inventor : SASADA KATSUHIRO  
NAKAHARA TOMOHARU  
ARAKI HIDEKAZU

(30)Priority

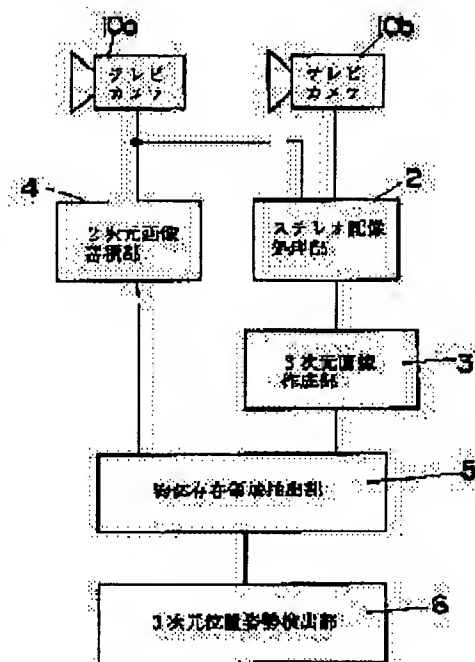
Priority number : 06 25731 Priority date : 23.02.1994 Priority country : JP

## (54) METHOD FOR RECOGNIZING OBJECT

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To highly accurately detect the recognition of an object in three-dimensional (3-D) space and to speed up processing by previously limiting an existing area of an object to be detected in a distance picture by using a two-dimensional (2-D) picture and executing object detecting processing for a distance part picture in the limited area.

**CONSTITUTION:** A picture picked up by a television(TV) camera 10a connected to a 2-dimensional (2-D) picture storing part 4 out of plural TV cameras 10a, 10b is used as a stereoscopic reference picture. Pictures picked up by the cameras 10a, 10b are correspondingly processed by a stereoscopic picture processing part 2 and a 3-dimensional (3-D) picture processing part 3 prepares a distance picture by mapping a distance calculated based upon the correspondence processing result on the stereoscopic reference picture. An object existing area extracting part 5 extracts an area including an object based upon the 2-D picture picked up by the camera 10a and the distance picture and a 3-D position posture detecting part 6 detects the 3-D position or posture of the object by using the object existing area and a distance picture near the area.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.05.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2919284

[Date of registration] 23.04.1999

(18) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-287756

(43) 公開日 平成7年(1995)10月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 6 T 7/00

識別記号

序内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 15/ 62

4 1 5

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願平6-317279

(22) 出願日 平成6年(1994)12月20日

(31) 優先権主張番号 特願平6-25731

(32) 優先日 平6(1994)2月23日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005832

松下電工株式会社

大阪府門真市大字門真1048番地

(72) 発明者 笹田 勝弘

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72) 発明者 中原 智治

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72) 発明者 荒木 秀和

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

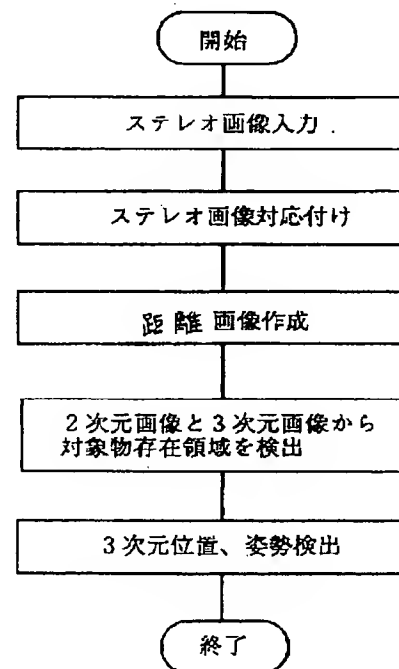
(74) 代理人 弁理士 石田 長七 (外2名)

(54) 【発明の名称】 物体認識方法

(57) 【要約】

【目的】 検出の高速化を図る。

【構成】 三次元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、この二次元画像を利用してあらかじめ距離画像における検出物体の存在領域を限定しておき、この限定した領域の距離部分画像に対して物体の検出処理を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 三次元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、この二次元画像の部分画像を特定し、この特定した二次元部分画像を距離画像に適用させて距離画像の部分画像を抽出し、この距離部分画像に対して物体の検出処理を行うことを特徴とする物体認識方法。

【請求項 2】 二次元画像の部分画像の特定に際して、パターンを用いることを特徴とする請求項 1 記載の物体認識方法。

【請求項 3】 二次元画像の部分画像の特定に際して、テキスチャを用いることを特徴とする請求項 1 記載の物体認識方法。

【請求項 4】 二次元画像の部分画像の特定に際して、色または明るさを用いることを特徴とする請求項 1 記載の物体認識方法。

【請求項 5】 二次元画像の部分画像の特定に際して、対象物体の三次元幾何特徴に由来する二次元幾何特徴を用いることを特徴とする請求項 1 記載の物体認識方法。

【請求項 6】 三次元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、二次元画像上の対象物体像の慣性主軸及び重心を抽出し、その慣性主軸を通り且つ二次元画像面に垂直な平面に距離画像を投影し、投影面上での対象物体像の慣性主軸及び重心を抽出し、得られた 2 本の慣性主軸及び 2 個の重心から三次元空間中での対象物体の慣性主軸の位置姿勢を検出することを特徴とする物体認識方法。

【請求項 7】 抽出した対象物体の三次元空間中での慣性主軸及び重心と対象モデルの慣性主軸と重心とを一致させ、対象物モデルをその慣性主軸を中心に回転させて、対象物モデルと対象物体との一致度を求めることにより、三次元空間中での対象物体の位置姿勢を検出することを特徴とする請求項 6 記載の物体認識方法。

【請求項 8】 距離画像から指定高さを示す特定領域を抽出し、その領域の二次元画像から部分画像を特定することを前処理として行うことを特徴とする請求項 1 から 7 までのいずれかの項に記載の物体認識方法。

【請求項 9】 物体の検出処理を行うにあたり、距離部分画像から得た三次元情報を平面に当てはめて、その平面の法線が撮像座標系の Z 軸に一致するように上記三次元情報を撮像座標系の原点を中心に回転させ、回転後の三次元情報を上記座標系の X-Y 平面に投影して、投影画像と予め登録されているモデルとの照合により、対象物体の仮の位置・姿勢を求め、これを上記回転前に戻して、対象物体の位置・姿勢を算出することを特徴とする請求項 1 または 6 記載の物体認識方法。

【請求項 10】 三次元空間中の円形状を有する物体を複数の方向から撮像して得た濃淡画像からエッジ画像と濃度勾配方向画像とを得るとともに、ステレオ画像処理により基準となるエッジ画像と他のエッジ画像より視差

2

画像を作成し、上記基準となるエッジ画像から曲線のエッジのみを抽出して、曲線エッジから更に円を抽出し、抽出した円の各エッジ点の上記視差から求まる三次元情報を用いて、上記円の位置姿勢を検出することを特徴とする物体認識方法。

【請求項 11】 基準となるエッジ画像から直線を抽出し、抽出した直線付近のエッジを消去することで曲線のエッジのみを抽出することを特徴とする請求項 10 記載の物体認識方法。

10 【請求項 12】 基準となるエッジ画像から直線を抽出し、抽出した直線付近のエッジで且つ濃度勾配の向きと直線方向ベクトルとのなす角が  $90^\circ$  に近いエッジを消去することで曲線のエッジのみを抽出することを特徴とする請求項 10 記載の物体認識方法。

【請求項 13】 基準となるエッジ画像から曲線のエッジのみを抽出するにあたり、基準となるエッジ画像中において任意のエッジ点を注目エッジ点とし、この注目エッジ点の周囲点に次のエッジ点を探索して、探索したエッジ点の濃度勾配の向きと上記注目エッジ点の濃度勾配の向きの差が一定値以下となるエッジ点を次の注目エッジ点として登録する処理を、注目エッジ点の周囲点に次の注目エッジ点が発見できなくなるまで続けて、急激な湾曲をもたない曲線あるいは直線のエッジにグループ化し、同一グループ内のエッジ点の分布から曲線のエッジのみを抽出することを特徴とする請求項 10 記載の物体認識方法。

30 【請求項 14】 曲線エッジから円を抽出するにあたり、抽出された曲線エッジの中で視差が算出されているエッジ点の数あるいは割合が一定値以上となる曲線エッジを抽出し、ここから円を抽出することを特徴とする請求項 10 または 11 または 12 または 13 記載の物体認識方法。

【請求項 15】 抽出された曲線エッジに円を最小二乗法で当てはめてその中心を算出するとともに、曲線エッジの任意のエッジ点から円の中心に向かう方向と、上記任意のエッジ点における濃度勾配の向きとの差が一定値以下または一定値以上となる曲線エッジを抽出し、ここから円を抽出することを特徴とする請求項 10 または 11 または 12 または 13 または 14 記載の物体認識方法。

40 【請求項 16】 抽出した任意の曲線エッジの組み合わせによって円を構成するにあたり、画像上において曲線エッジ間の距離が小さいものから順に組み合わせるとともに、一定距離以上のものは組み合わせずに円を構成することを特徴とする請求項 10 ~ 15 のいずれかの項に記載の物体認識方法。

【請求項 17】 組み合わせた曲線エッジの二次元データから最小二乗法で円を求めて組み合わせた曲線エッジ上の各点が求めた円から一定距離以内にある時のみ、組み合わせた曲線エッジが同一円上に存在するとして円を

構成することを特徴とする請求項 16 記載の物体認識方法。

【請求項 18】 円の構成が可能とされた二つの曲線エッジに対して、第 1 の曲線エッジ上の任意の 2 点と第 2 の曲線エッジ上の任意の 1 点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成される平面と、第 2 の曲線エッジ上の任意の 2 点と第 1 の曲線エッジ上の任意の 1 点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成される平面との各法線の向きの差が一定値以内となる場合のみ、上記二つの曲線エッジを同一円上に存在するとして円を構成することを特徴とする請求項 10~17 のいずれかの項に記載の物体認識方法。

【請求項 19】 抽出した円エッジ上の各点の三次元情報を用いて円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面の法線が基準座標系の Z 軸に一致するように上記三次元情報を撮像座標系の原点を中心に回転させ、回転後の円エッジの x, y 座標値を用いてその円の中心・半径を最小二乗法で算出し、算出した中心座標を回転前に戻すことで、物体の位置・姿勢を検出することを特徴とする請求項 10~18 のいずれかの項に記載の物体認識方法。

【請求項 20】 円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面から三次元空間中において一定距離以上の点に対応する円エッジ点を取り除いた後、円の中心・半径を算出することを特徴とする請求項 19 記載の物体認識方法。

【請求項 21】 円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面から三次元空間中において一定距離以上の点に対応する円エッジ点を取り除いた後、残る円エッジ点で構成される円エッジが当てはまる平面を再度求めて、この平面を回転させることを特徴とする請求項 19 記載の物体認識方法。

【請求項 22】 抽出した円エッジを三次元空間で平面と球とに当てはめて、平面と球の交差する面上に形成される球の断面である真円の中心位置及び半径を算出することを特徴とする請求項 10~18 のいずれの項に記載の物体認識方法。

【請求項 23】 検出された円の大きさ・三次元空間中における位置関係により、物体の位置・姿勢を検出認識することを特徴とする請求項 10~22 のいずれかの項に記載の物体認識方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は三次元空間中の物体の認識、つまり物体の位置・姿勢・形状を検出する物体認識方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 三次元物体の認識方法として、特開平 2-230478 号公報に示されているように、画像中の全エッジセグメントと物体モデルの全稜線との対応付け

より得られる物体の位置姿勢を表すパラメータ空間中のクラスタを抽出して物体の位置検出を行う方法や、特開平 4-54409 号公報に示されているように、対象物体を複数の剛体が回転自由度をもつ関節で結合されているという物体モデルで考えて、画像中の特徴（指定線分、指定点）と物体モデルとの対応から各剛体の姿勢候補を求め、各姿勢候補から物体モデルの像を推定し、画像と照合することにより、妥当な姿勢を決定するという方法がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 この場合、前者の方法では、画像中の全エッジセグメントと物体モデルの全稜線との対応付けを行う必要があり、対象物体が複雑な形状であれば画像中のエッジセグメント数や物体モデルの稜線数が多くなり、対応付けに多くの時間を要することになるとともに、検出精度も悪くなる。後者の方法においても対象物が柔軟な構造であれば、剛体と関節の数が多くなるために、最終的な物体の三次元姿勢の検出には多くの時間を要することになる。

【0004】 一方、物体が円柱形のような円形状を有する物体である場合には、特公平 6-29695 号公報に検出の高速化を図る方法が示されている。これは対象物体を斜めから二つの撮像手段で撮像し、二つの画像から曲線のエッジを抽出して曲線のエッジが一定距離以内であれば同一楕円上のエッジであるとして、上面及び下面の楕円を抽出するとともに、真円の中心は画像上に楕円の中心として投影されると考えて、上面及び下面の楕円の中心を二つの画像から算出及び対応付けを行い、三角測量の原理で上面及び下面の真円の中心を算出し、更に二つの中心を結ぶ線分を方向を算出することにより、円柱の中心軸を求めることで、円柱状物体の位置及び姿勢を決定するものである。

【0005】 しかし、この方法ではリング状物体や複数の円柱状物体が対象物体となる時、画像上から同一円ではない曲線エッジの組み合わせを同一の円と見なしたり、下面のエッジが見えなくなって円柱状物体の中心軸の方向、つまり姿勢が計測できないという問題を有しているほか、円の中心は画像に投影されると、円を含む平面と撮像手段の光軸とが直交しないかぎり、画像上の円の中心からずれて投影されるものであり、また下面の円エッジはその半数近くが隠れて見えないために、このようなエッジから求められた円の中心精度はどうしても低くなる。従って求められた位置や姿勢の値はその精度や信頼性が低い。

【0006】 本発明はこのような点に鑑み為されたものであり、その目的とするところは検出の高速化を図ることができるとともに、高い精度で検出を行うことができる物体認識方法を提供するにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 しかして本発明は、三次

元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、この二次元画像の部分画像を特定し、この特定した二次元部分画像を距離画像に適用させて距離画像の部分画像を抽出し、この距離部分画像に対して物体の検出処理を行うことに第1の特徴を有しており、三次元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、二次元画像上の対象物体像の慣性主軸及び重心を抽出し、その慣性主軸を通り且つ二次元画像面に垂直な平面に距離画像を投影し、投影面上での対象物体像の慣性主軸及び重心を抽出し、得られた2本の慣性主軸及び2個の重心から三次元空間中での対象物体の慣性主軸の位置姿勢を検出することに第2の特徴を有し、更に三次元空間中の円形状を有する物体を複数の方向から撮像して得た濃度画像からエッジ画像と濃度勾配方向画像とを得るとともに、ステレオ画像処理により基準となるエッジ画像と他のエッジ画像より視差画像を作成し、上記基準となるエッジ画像から曲線のエッジのみを抽出して、曲線エッジから更に円を抽出し、抽出した円の各エッジ点の上記視差から求める三次元情報を用いて、上記円の位置姿勢を検出することに第3の特徴を有している。

#### 【0008】

【作用】本発明の第1の特徴とするところによれば、物体の検出処理に際して、二次元画像を利用してあらかじめ距離画像における検出物体の存在領域を限定しておく、この限定した領域の距離部分画像に対して物体の検出処理を行うために、距離画像の全域で検出処理を行う従来例に比して、検出処理の高速化を図ることができ、この場合の二次元画像の部分画像の特定に際しては、対象物体の表面上に存在する形状パターンやテクスチャの統計的画像特徴量、色または明るさによる分類、あるいは対象物体の三次元幾何特徴に由来する二次元幾何特徴を好適に用いることができる。

【0009】また、第2の特徴とするところによれば、三次元空間中の物体の位置姿勢を代表する慣性主軸の位置及び姿勢を容易に検出することができるために、検出処理の高速化を図ることができ、この時、検出した対象物体の三次元空間中での慣性主軸及び重心と対象モデルの慣性主軸と重心とを一致させ、対象物モデルをその慣性主軸を中心に回転させて、対象物モデルと対象物体との一致度を求めることにより、三次元空間中での対象物体の位置姿勢を検出するようにしてもよい。距離画像から指定高さを示す特定領域を抽出し、その領域の二次元画像から部分画像を特定することを前処理として行うことを妨げない。

【0010】物体の検出処理を行うにあたっては、距離部分画像から得た三次元情報を平面に当てはめて、その平面の法線が撮像座標系のZ軸に一致するように上記三次元情報を撮像座標系の原点を中心に回転させ、回転後の三次元情報を上記座標系のX-Y平面に投影して、投

影画像と予め登録されているモデルとの照合により、対象物体の仮の位置・姿勢を求め、これを上記回転前に戻して、対象物体の位置・姿勢を算出することが好ましい。

【0011】更に本願発明の第3の特徴とするところによれば、エッジ画像から曲線のエッジのみを抽出して、曲線エッジから更に円を抽出し、抽出した円の各エッジ点の視差から求める三次元情報を用いて、上記円の位置姿勢を検出するために、高速化を図ることができると同時に、高い精度を保つことができる。エッジ画像から曲線エッジのみを抽出するにあたっては、基準となるエッジ画像から直線を抽出し、抽出した直線付近のエッジを消去することで、曲線エッジの抽出を効率よく行うことができる。特に基準となるエッジ画像から直線を抽出し、抽出した直線付近のエッジで且つ濃度勾配の向きと直線方向ベクトルとのなす角が $90^\circ$ に近いエッジを消去することで曲線のエッジのみを抽出するならば、曲線エッジとして残すべき部分まで消去してしまうおそれ

【0012】基準となるエッジ画像から曲線のエッジのみを抽出するにあたり、基準となるエッジ画像中において任意のエッジ点を注目エッジ点とし、この注目エッジ点の周囲点に次のエッジ点を探索して、探索したエッジ点の濃度勾配の向きと上記注目エッジ点の濃度勾配の向きの差が一定値以下となるエッジ点を次の注目エッジ点として登録する処理を、注目エッジ点の周囲点に次の注目エッジ点が発見できなくなるまで続けて、急激な湾曲をもたない曲線あるいは直線のエッジにグループ化し、同一グループ内のエッジ点の分布から曲線のエッジのみを抽出するならば、必要とする曲線エッジのみの抽出を効率よく行うことができる。

【0013】抽出された曲線エッジの中で視差が算出されているエッジ点の数あるいは割合が一定値以上となる曲線エッジを抽出し、ここから円を抽出すると、必要な円の抽出を効率よく行うことができる。そして抽出された曲線エッジに円を最小二乗法で当てはめてその中心を算出するとともに、曲線エッジの任意のエッジ点から円の中心に向かう方向と、上記任意のエッジ点における濃度勾配の向きとの差が一定値以下または一定値以上となる曲線エッジを抽出し、ここから円を抽出するならば物体がリング状であっても、必要とする円エッジのみを効率良く抽出することができる。

【0014】抽出した任意の曲線エッジの組み合わせによって円を構成するにあたっては、画像上において曲線エッジ間の距離が小さいものから順に組み合わせるとともに、一定距離以上のものは組み合わせずに円を構成したり、あるいは組み合わせた曲線エッジの二次元データから最小二乗法で円を求めて組み合わせた曲線エッジ上の各点が求めた円から一定距離以内にある時のみ、組み合わせた曲線エッジが同一円上に存在するとして円を構

成したり、円の構成が可能とされた二つの曲線エッジに対して、第1の曲線エッジ上の任意の2点と第2の曲線エッジ上の任意の1点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成される平面と、第2の曲線エッジ上の任意の2点と第1の曲線エッジ上の任意の1点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成される平面との各法線の向きの差が一定値以内となる場合にのみ、上記二つの曲線エッジを同一円上に存在するとして円を構成したりすることによって、誤った曲線エッジの組み合わせで円を構成してしまうことが無くなる。

【0015】抽出した円エッジの中心位置や半径を求めるにあたっては、円エッジ上の各点の三次元情報を用いて円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面の法線が基準座標系のZ軸に一致するように上記三次元情報を撮像座標系の原点を中心に回転させ、回転後の円エッジのx、y座標値を用いてその円の中心・半径を最小二乗法で算出し、算出した中心座標を回転前に戻すことで行うのが好ましい。的確に上記値を算出することができ

る。  
【0016】この時、円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面から三次元空間中において一定距離以上の点に対応する円エッジ点を取り除いた後、円の中心・半径を算出したり、円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面から三次元空間中において一定距離以上の点に対応する円エッジ点を取り除いた後、残る円エッジ点で構成される円エッジが当てはまる平面を再度求めてこの平面を回転させたりするならば、誤差の大きいデータを除去することができるために、より正確な算出を行うことができるものとなる。

【0017】抽出した円エッジを三次元空間で平面と球とに当てはめて、平面と球の交差する面上に形成される球の断面である真円の中心位置及び半径を算出してもよく、この場合、処理が簡単となるために、処理時間が短くてすむものであり、精度を厳しく追及する必要がなく且つ処理時間を短縮する必要がある場合に適したものとなる。

【0018】検出された円の大きさ・三次元空間中における位置関係により、物体の位置・姿勢を検出認識することで、複数の円形状を有する物体の認識も可能となる。

【0019】

【実施例】以下本発明を図示の実施例に基づいて詳述すると、本発明の第1及び第2の特徴とするところにおいては、距離画像と、この距離画像と同一視点から撮像した二次元画像とを用いるが、距離画像の作成方法については種々の方法があるものの、ここではステレオ画像から、すなわち異なる視点から撮像した2枚の二次元画像から距離画像を作成する場合について説明する。図2において、10a、10bはステレオ画像を得るためのテレビカメラである。ここで、テレビカメラ10a、10

bのうち、二次元画像蓄積部4と接続されているテレビカメラ10aで撮像された画像はステレオ基準画像として用いられる。テレビカメラ10a、10bで撮像された画像は、ステレオ画像処理部2において対応付け処理がなされ、三次元画像作成部3において、上記対応付け結果に基づいて算出された距離をステレオ基準画像上にマッピングすることで距離画像を作成する。また、一方のテレビカメラ10aで撮像された二次元画像は、二次元画像蓄積部4に蓄積される。そして、二次元画像と距離画像とを基に、物体存在領域抽出部5は物体が存在する領域を抽出し、三次元位置姿勢検出部6は物体存在領域及びその近傍の距離画像を用いて物体の三次元位置や姿勢を検出する。

【0020】図3は検出物体の一例を、図4(a)はその二次元画像I2を、図4(b)は距離画像I3を示している。距離画像I3に施した斜線は、高さの違いを表している。なお、この表現方法は後述の場合においても同じとしてある。距離画像からでは検出できない検出物体の表面上に存在する形状パターンを使って物体存在領域を抽出する場合について、まず説明すると、上記物体存在領域抽出部5による物体存在領域の抽出は、図5に示す場合においては、パターンマッチングによって行っている。例えば検出物体の表面に「B」という文字がある場合、この文字「B」を検出パターンとし、上記二次元画像I2と検出パターンとのパターンマッチングを行い、マッチングスコアがしきい値以上である部分を抽出するとともに、図6に示すように、抽出部分の重心G1を中心とする一定の範囲内を物体存在領域Iとしている。そして、距離画像I3におけるこの物体存在領域Iに対応する部分画像に対して物体の検出処理を行っている。この検出処理としては、従来例として述べた2つの方法はもちろん、後述する他の方法を用いることができる。

【0021】物体存在領域Iの設定にあたっては、図7及び図8に示すように、二次元画像I2からエッジを抽出するとともに、エッジ密度がしきい値以上である部分を抽出し、この抽出部分の重心G2を中心に物体存在領域Iを設定して、距離画像I3におけるこの物体存在領域Iに対応する部分画像に対して物体の検出処理を行うようにしてもよい。物体のテキスチャの統計的画像特徴量の違いは、二次元画像I2においてエッジ密度として現れるために、これを利用しているわけである。

【0022】図3に示す複数の直方体のうち、中央に位置するものだけが赤色であり、他が青色であるような場合、図9に示すように、二次元画像I2から色抽出（この場合は赤色を抽出）するとともに赤色成分がしきい値以上である部分を抽出し、図10に示すように、この抽出部分の重心G3を中心に物体存在領域Iを設定して、距離画像I3におけるこの物体存在領域Iに対応する部分画像に対して物体の検出処理を行うようにしてもよい。色に代えて、明るさによって特定部分を抽出する

ようにしてもよいのはもちろんである。

【0023】この他、対象物体の三次元幾何特徴に由来する二次元幾何特徴を利用して、あらかじめ検出物体の存在領域を限定することができる。図11は、二つの直線がT字状に接続しているという二次元幾何特徴を利用した場合を示しており、図12に示す物体から図13

(a)に示す二次元画像I2と同図(b)に示す距離画像I3とが得られた場合、二次元画像I2からエッジを抽出してハフ(Hough)変換により直線検出を行い、更に検出した直線の交点を抽出してこの交点近傍のエッジによりT字状接続の有無を判断することで、図14に示すように、T字接続交点G4を抽出する。そして、T字接続交点G4を中心とする一定の範囲内の領域を距離画像I3に適用させ、距離部分画像から物体の三次元位置や姿勢を検出する。

【0024】図15及び図16に示すように、二次元画像I2から慣性主軸EA1と重心G5とを検出し、更に慣性主軸EA1を通り且つ二次元画像I2に垂直な平面Pに距離画像I3を投影して、この投影画像から図17に示すように慣性主軸EA2と重心G6とを検出すれば、2本の慣性主軸EA1、EA2から慣性主軸の姿勢を検出することができ、2個の重心G5、G6から慣性主軸の位置を検出することができる。

【0025】更に、図18に示すように、上述のように慣性主軸の姿勢と位置とを検出した後、対象物モデルの慣性主軸と重心を求めて、これを検出した慣性主軸の姿勢と位置に一致させ、次いで対象物モデルをその慣性主軸を中心に回転させて、対象物モデルと対象物体との一致度を求め、一致度が最大となる時の対象物モデルの位置及び姿勢から物体の三次元位置及び姿勢を検出することができる。この場合、三次元空間中の物体の位置姿勢を代表する慣性主軸の位置及び姿勢を基準として固定することにより、物体の三次元空間中での6自由度のうち5自由度を拘束することになるために、三次元空間中の物体の位置姿勢を高速に且つ精度良く検出することができることになる。

【0026】図20(a)の二次元画像I2及び同図(b)の距離画像I3から明らかなように、図12に示した物体が山積みされているような場合、図19に示すように、

前処理として、検出物体の存在位置の予測高さを設定するとともに、距離画像I3から予測高さより高い領域を抽出する(図21(a))とともに画像中での位置がその領域と同じ領域を二次元画像I2から抽出する(図21(b))とよい。その後、二次元画像I2'と距離画像I3'の予測高さを基準として限定した領域に対して、前述のような処理(ここでは図11に示したものと同一処理)を行って物体の三次元位置や姿勢を検出する。

【0027】このような三次元物体の認識方法は検査に応用することができる。たとえば図23は、ベース7の角孔70に角柱8を挿入した時、角柱8がベース7に対

して垂直( $\theta = 90^\circ$ )に挿入されたどうかの検査に応用する場合であって、図22は前述のパターンマッチングを用いた場合についての例を示しており、2台のテレビカメラからのステレオ画像から、図24(a)に示す二次元画像I2及び同図(b)に示す距離画像I3を得る。また、角柱8の上面にある円80(孔やねじ孔を利用することができる)を検出パターンとして、前記実施例と同様に、物体存在領域を限定した後、角柱8の三次元空間中での位置や姿勢を検出する。この検出結果に基づいて、角柱8の傾き $\theta$ を求め、挿入状態の良否を判断する。

【0028】図25～図28は、前述のテキスチャを利用して抽出した距離部分画像から物体の位置姿勢の検出を行う場合の検出法の一例を示している。図26に示す物体8がある時、これを撮像して得た距離画像からテキスチャを利用して物体8の上面に対応する部分画像を抽出し、この部分画像から得られる三次元情報を平面に当てはめることによって図27に示すように上記物体8の上面が含まれる三次元空間中の平面Paを求める。この平面Paは、最小二乗法で式

$$ax + by + cz + 1 = 0$$

中の係数a, b, cを算出することによって得ることができる。次いで図28に示すように平面Paの法線Pa<sub>z</sub>が撮像座標系のZ軸に一致するように物体の上面内の点の三次元位置を上記座標系の原点p<sub>o</sub>を中心に回転させ、回転後の物体の上面内の点のx, y座標値を用いて基準座標系の平面(ここでは上記撮像座標系のX-Y平面P<sub>xy</sub>)に投影する。こうして得た投影画像と予め登録されているテンプレート画像M(たとえば図28(b)に示すもの)とのパターンマッチングにより、投影画像上での物体の位置・姿勢を求め、更に求めた物体の位置を上記回転前に逆変換することで、物体の上面の位置・姿勢を求めることができる。なお、二次元画像上での物体の位置や姿勢を検出するにあたり、ここではテンプレート画像とのパターンマッチングを用いたが、一般化ハフ変換のような他の方法を用いてもよいのはもちろんである。

【0029】以上の実施例においては、三次元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、この二次元画像を基に対象物体の位置姿勢の検出処理を行う領域を抽出限定したり、対象物体の慣性主軸及び重心を抽出したが、対象物体が円柱形のような円形状を有する物体である場合には、エッジ画像を利用して円の部分を抽出し、この円についての位置姿勢や半径の計測を行うことで、物体の認識の更なる高速化を図ることができる。

【0030】この場合、図29に示すように、照明19によって照らされる物体18を撮像する2台のカメラ11, 12と、両カメラ11, 12で撮像されたアナログ画像信号をデジタル画像信号に変換するA/D変換器1

3, 14と、デジタル画像信号を蓄積するフレームメモリ15, 16と、フレームメモリ15, 16に接続した処理装置17でシステムを構成する。そして、エッジ画像のステレオ画像処理で平行ステレオ変換を行って、つまり2台のカメラ11, 12の向き・焦点距離などを合わせ込み、画像上で対応すべき画素のy座標が一致するように2台のカメラ11, 12で撮像された画像に変換を行うことで、対応点探索の効率化を図るとともに、算出された2つの画像のx座標の差である視差をカメラ11で撮像しエッジ抽出された画像(ステレオ基準画像)上にマッピングして視差画像を作成する。距離画像が必要である時には視差から距離への変換を加える。たとえば、図30に示すように、高さの異なる円柱状物体18, 18, 18が配置されている時、これを上方から撮像することで、図31(a)に示すステレオ基準画像のエッジ画像と、図31(b)に示す視差画像とを得る。なお、図31(b)においては、線の太さで高低を表しており、高い部分ほど太くしてある。

【0031】今、撮像によってフレームメモリ15, 16に蓄積された画像を平行ステレオ変換することでエッジ画像・濃度勾配の方向画像に変換する。画像からエッジを抽出するために、図71に示すソーベル・オペレータを用いる。このオペレータの適用に際しては、オペレータ中心を注目画素に合わせ、近隣画素の濃度値とオペレータの数値とを掛け合わせるにより、X, Y各方向の一次微分値 $G_x$ ,  $G_y$ を、それをもとに微分強度 $|G|$ 、濃度勾配の向き $\theta$ を求める計算をすべての画素に対して行う。座標 $[x, y]$ における画素の濃度を $I(x, y)$ とすると、X, Y各方向の一次微分値 $G_x$ ,  $G_y$ は次式によって表される。

【0032】

$$G_x(x, y) = \{I(x+1, y-1) + 2I(x+1, y) + I(x+1, y+1)\} - \{I(x-1, y-1) + 2I(x-1, y) + I(x-1, y+1)\}$$

$$G_y(x, y) = \{I(x-1, y-1) + 2I(x, y-1) + I(x+1, y-1)\} - \{I(x-1, y+1) + 2I(x, y+1) + I(x+1, y+1)\}$$

これを用いて各画素位置での微分強度 $|G|$ 、濃度勾配 $\theta$ は次のように求められる。

$$【0033】 |G| = (G_x^2 + G_y^2)^{1/2}$$

$$\theta = \tan^{-1}(G_y/G_x)$$

微分強度 $|G|$ の値に対してあるしきい値を設けて微分強度の低い画素の微分強度を0にした後、微分強度がその近傍で最高となる点、すなわち微分強度の尾根線をエッジ点として抽出することにより、図32(a)に示すエッジ画像を得ることができる。そして、このステレオ基準画像のエッジ画像から図32(b)に示すように、曲線成分のみを抽出し、抽出した曲線成分から更に図33(b)に示すように、円を抽出する。

【0034】また、2枚のステレオエッジ画像からステレオ画像処理に基づいて前述のように視差を算出し、この視差をステレオ基準画像のエッジ画像上にマッピング

して視差画像を作成し、上記のようにして抽出した円の視差画像上の対応する部分から円エッジ上各点の三次元位置を算出して、この三次元位置情報より円柱状物体18の上面の円の中心位置・姿勢を計測することで、物体18の位置・姿勢を認識する。

【0035】ステレオ基準画像のエッジ画像から曲線成分のみを抽出することは、例えばハフ変換で直線を抽出し、抽出した直線から一定距離以内に存在するエッジを消去することによって行うことができる。図34に示すように、コンベア92を流れてくる物体18が図35に示す3種の物体のうちのどれであるかの選別を行う場合について説明すると、図37に示すように、平行ステレオ変換と微分画像及び濃度勾配方向画像の作成を経てエッジ画像を作成する。この時、ステレオ基準画像となる画像を撮像するカメラ11が、物体18をほぼ真上から撮像した時には、図36(a)に示すようなエッジ画像を得ることができるとともに、ここからハフ変換を行って直線を抽出して、抽出した直線126, 127から一定距離以内に存在するエッジを消去すれば、コンベア92によるエッジ122~125を消去してしまうことができるために、物体18の上面の円エッジ121のみを抽出することができる。そして、抽出した円の視差から円エッジ各点の三次元位置を算出して、得られた三次元位置情報から物体18の上面の円の中心位置及び半径を計測すれば、その中心位置(高さ)と半径とによって物体18が図35に示す3種の物体のうちのどれであるかを特定することができる。

【0036】ところで、円柱状の物体18が図38や図39に示すように、上面のエッジに直線成分を含むものである場合、単に抽出した直線から一定距離以内に存在するエッジを消去するのでは、曲線の一部も消去してしまうことになる。この点に対処するには、図40及び図41に示すように、抽出した直線177, 178, 179, 17a, 17b, 17cから一定距離以内に存在し且つその濃度勾配の向きとその直線方向ベクトルのなす角が $90^\circ$ から一定値以内とするエッジを消去すればよい。このようにすれば、図40(b)に示すように、円のエッジ171の一部を消去してしまうことなく、直線エッジを消去することができる。

【0037】エッジ画像から直線成分を消去して曲線成分のみとすることについては、図42~図45に示すように次のようにしてもよい。つまり、ステレオ基準画像のエッジ画像からエッジ点を見つけて記憶し、図43(a)に示すように発見した注目エッジ点201の周囲点を右隣から時計回りの順に他のエッジ点があるかどうか探し、エッジ点が存在すればそのエッジ点の濃度勾配の向きと先に記憶したエッジ点201の濃度勾配の向きの差が一定以下となるエッジ点を次の注目エッジ点として記憶するという処理をエッジ点が注目エッジ点201の周囲点に発見できなくなるまで続け、記憶したエッジ点



の数が一定値以上であるものを別々に抽出すると、図43(b)に示すように、急激な湾曲を持たないエッジに組み分けることができる。こうして組み分けした急激な湾曲を持たないエッジ毎に、図44に示すように、エッジの始点221と中点222とを結んだ線分と、エッジの始点221と終点223とを結んだ線分とがなす角224を調べてこの値が一定値以上となるエッジのみを残せば、図45(a)に示すように、急激な湾曲を持たない曲線を描いているエッジのみを抽出することができ、ここから図45(b)に示すように円エッジを抽出することができる。

【0038】曲線となっているエッジの中から円のエッジを抽出することについては、次のようにして行うことができる。まず、図46に示す場合の手法は、物体18の下面側においては円形状であっても多くの部分がその物体18に隠れてしまうためにエッジ画像中に円となって現れることはまずなく、そして物体18の上面側と下面側とでは上面側の方が視差が大きくなることを利用したもので、図47(a)に示すように曲線のみが抽出されたエッジ画像中から、各曲線エッジ261、262、263の視差算出状況を調べ、視差が算出されている割合が一定値以下の曲線エッジを削除すれば、同図(b)に示すように、下面のエッジの可能性が高い曲線エッジ261を削除して、上面側の曲線エッジ262、263のみとすることができ、ここから同図(c)に示すように円を抽出するのである。

【0039】物体18が図49に示すようにリング状である場合には、その上面側に二重の円エッジが生じることから、このうちの一方の円エッジ(図48に示すものでは外側の円エッジ)のみを抽出するとよい。すなわち、上記物体18のエッジ画像が図50(a)に示すものに、そして直線成分を消去した時に図50(b)に示すものとなっているとともに、図51に示すように、背景より明るく見えて外側リングのエッジ331部分の濃度勾配の向き335が円に対して内側に、内側リングのエッジ332部分の濃度勾配の向き338が円に対して外側に向いているならば、真円の当てはめ式

$$x^2 + y^2 + ax + by + r = 0$$

を用いて係数a、b及び定数項rを最小二乗法で求めることで、上面の各エッジ331、332毎に真円を当てはめてその中心(-a/2, -b/2)334を算出するとともに、真円が当てはめられたエッジの任意の1点を選んでこの1点から算出した円の中心334に向かう方向を求め、この方向334と選ばれた1点の濃度勾配の向き337、338の差が一定値(90°)以下となる上面のエッジを抽出すれば、ステレオ基準画像のエッジ画像を内側円エッジ332が消去された図50(c)に示すものとして行うことができる。なお、90°以上となるものを選択すれば、外側円エッジ331が消去されて内側円エッジ332が残ることになる。

【0040】図52に示す実施例は、図53に示すように円柱状物体18が山積みされているためにそのエッジ画像が図54(a)に示すようになっている場合に、最上位の物体を検出してその位置・姿勢を計測するためのものである。エッジ画像中に複数存在している曲線エッジの中から、最上位に位置するために最大視差を有しているエッジを選んで図54(a)に示すようにこれを基準エッジ381とするとともに、他のエッジについて基準エッジ381からの距離が短い順に番号(382, 383, …)を付し、基準エッジ381が円成分であるかどうかを調べて円成分と見なすことができない場合には任意のエッジを基準エッジに選ぶ。そして円成分と見なすことができる場合には、他のエッジが基準エッジと同一円を構成するものであるかどうかを調べることを上記番号順に行うとともに同一円と判定されたエッジを基準エッジに含ませる。この処理を基準エッジからの距離が一定値以下の他のエッジについても行って図54(b)に示すように同一円のエッジを一まとめにすることで、最上位の円エッジを抽出することができ、ここから最上位の物体18の位置・姿勢を検出することができる。

【0041】図55に示すものは、図54(a)に示すエッジ画像中から最上位に位置するために最大視差を有しているエッジを選んでこれを基準エッジ381とし、他のエッジについて基準エッジ381からの距離が短い順に番号(382, 383, …)を付した後、楕円の当てはめのための次式

$$ax^2 + by^2 + 2hxy + 2gx + 2fy = 1$$

の係数a、b、h、g、fを最小二乗法で求めることにより基準エッジ381に楕円を当てはめてその中心座標(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>)を算出し、図56に示すように、基準エッジの各点417と楕円411の中心412を通る直線413と楕円の2交点414、415の中でエッジ点417と近い方向の距離416が、基準エッジの各点のどれかの点において一定値以上となった時、基準グループを円の成分と見なさずに次の基準エッジを任意に選ぶとともに、一定値以下となる場合には基準エッジを円の成分と見なして、この基準エッジ381と近傍のエッジ382とを組み合わせ、上記式の係数a、b、h、g、fを最小二乗法で求めることにより、基準エッジに楕円を当てはめて、その中心座標(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>)を算出する。そして、基準エッジ381とその近傍のエッジ382の各点と今求めた楕円との距離を求め、すべての距離が一定値以下である場合は基準エッジ381とその近傍のエッジ382は同一円上にあるエッジと判断し、その距離がひとつでも一定値以下でない場合時には、同一円上のエッジではないと判断し、基準エッジ381に次の近傍エッジ383を組み合わせ上記処理を行う。この一連の処理を組み合わせるエッジがなくなるまで行えば、同一円のエッジを一まとめにすることができる。ここにおいて、上記楕円の中心座標(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>)は

15

$$x_o = (h f / b g) / (a b - h^2)$$

$$y_o = (h g / a f) / (a b - h^2)$$

と表すことができる。

【0042】図57に示す実施例も、図58に示すように山積みされた円筒状物体18のエッジ画像が図59(a)に示すものになっている場合に最上位物体を検出するためのもので、視差の点から抽出した最上位エッジを基準エッジ441とする。ここにおいて、基準エッジ441と同一円を構成すべきエッジ442が物体の傾き等のために検出されていない場合、上記実施例による手法ではエッジ443が基準エッジ441と組み合わせられるものと判断されてしまうおそれがあることから、ここでは基準エッジ441とエッジ443とが上記実施例で述べたような手法で同一円上のエッジであると判定された時、図60に示すように、基準エッジ441の任意の2点と他のエッジ443の任意の1点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成した平面453の法線の向きと、エッジ442の任意の2点と基準エッジ441の任意の1点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成した平面454の法線の向きとの差が一定値以内となる場合にのみ、同一円とする最終判定を行う。この処理により、最上位の物体の上面の円のエッジを図59(b)に示すように抽出することができる。

【0043】円柱状物体の上面の円エッジを抽出してからの処理について説明すると、図61～図63に示す実施例は、図25に示した場合と同様に、抽出した円エッジの視差から円エッジ上の各点の三次元位置を算出し、最小二乗法で

$$a x + b y + c z + 1 = 0$$

という円の当てはめ式から係数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ を算出することで、図62に示すように、物体18の上面を含んでいる平面 $P_a$ を求め、図63に示すように、この平面 $P_a$ の法線 $P_{az}$ が撮像座標系の $Z$ 軸に一致するように物体の上面内の点の三次元位置を上記座標系の原点 $p_o$ を中心に回転させて、回転後の物体の上面内の点の $x$ 、 $y$ 座標値を用いて真円の当てはめ式

$$x^2 + y^2 + a x + b y + r = 0$$

の係数 $a$ 、 $b$ 及び定数項 $r$ を最小二乗法で求め、回転後の真円の中心位置491及び半径492を算出する。なお、ここでは撮像座標系を基準座標系としている。そして、算出した真円の中心位置491を回転前に逆変換することで、物体18の上面の真円の中心位置486を算出して物体18の位置・姿勢と半径とを得る。座標回転後の真円算出において、最小二乗法による前記楕円の当てはめ式を用いて係数 $a$ 、 $b$ 、 $h$ 、 $g$ 、 $f$ の算出を行い、楕円の標準形に変換することにより、楕円柱の位置・姿勢及び長半径・短半径を得ることができる。

【0044】図64に示す実施例においては、上述のように平面 $P_a$ の法線 $P_{az}$ が撮像座標系の $Z$ 軸に一致するように物体の上面内の点の三次元位置を上記座標系の

16

原点 $p_o$ を中心に回転させた後、回転後の円を構成する各エッジ点と求めた平面 $P_a$ の三次元空間中での距離493( $z$ 座標値の差)が一定値以上であるエッジ点を取り除く。上記エッジ点を取り除かれた回転後の物体18の上面のエッジ点の $x$ 、 $y$ 座標値を用いて真円の当てはめ式の係数 $a$ 、 $b$ や定数項 $r$ を最小二乗法で求め、回転後の真円の中心位置491及び半径492を算出する。なお、ここでは撮像座標系を基準座標系としている。そして、算出した真円の中心位置491を回転前に逆変換することで、物体18の上面の真円の中心位置486を算出して物体18の位置・姿勢と半径とを得る。また座標回転後の真円算出において、最小二乗法による前記楕円の当てはめ式を用いて係数 $a$ 、 $b$ 、 $h$ 、 $g$ 、 $f$ の算出を行い、楕円の標準形に変換することにより、楕円柱の位置・姿勢及び長半径・短半径を得ることができる。

【0045】図65に示す実施例においては、上述のように平面 $P_a$ の法線 $P_{az}$ が撮像座標系の $Z$ 軸に一致するように物体の上面内の点の三次元位置を上記座標系の原点 $p_o$ を中心に回転させた後、回転後の円を構成する各エッジ点と求めた平面 $P_a$ の三次元空間中での距離( $z$ 座標値の差)が一定値以上であるエッジ点を取り除き、もう一度円柱体18の上面のエッジが含まれる三次元空間中の平面 $P_a$ を最小二乗法で求め、求めた平面 $P_a$ の法線 $P_{az}$ が撮像座標系の $Z$ 軸に一致するように物体の上面内の点の三次元位置を上記座標系の原点 $p_o$ を中心に回転させる。この後、回転後の物体18の上面のエッジ点の $x$ 、 $y$ 座標値を用いて真円の当てはめ式の係数 $a$ 、 $b$ や定数項 $r$ を最小二乗法で求め、回転後の真円の中心位置491及び半径492を算出する。そして、算出した真円の中心位置491を回転前に逆変換することで、物体18の上面の真円の中心位置486を算出して物体18の位置・姿勢と半径とを得る。この場合も、座標回転後の真円算出において、最小二乗法による前記楕円の当てはめ式を用いて係数 $a$ 、 $b$ 、 $h$ 、 $g$ 、 $f$ の算出を行い、楕円の標準形に変換することにより、楕円柱の位置・姿勢及び長半径・短半径を得ることができる。

【0046】図66に示す実施例においては、上述のように抽出した円エッジの視差から円エッジ上の各点の三次元位置を算出し、最小二乗法で円の当てはめ式から係数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ を算出することで、物体18の上面を含んでいる平面 $P_a$ を求める。また図67に示すように、物体18の上面の真円が含まれる三次元空間中の球531を最小二乗法で求める。球を当てはめる場合、上面の真円は同一平面上に存在するので、一意には球が決まらないが、球の中心は上記平面 $P_a$ に垂直且つ平面上に存在する真円の中心を通る直線上であることまで限定される。また、ここで求める球はその半径が上面の真円の半径より大きく上面の真円を含む球であればどのような球であってもよい。また、球の中心座標の軸のうちどれかひとつの値を固定すれば球を決定することができる。本実

施例では、球の中心の  $z$  座標値を物体の存在範囲の  $z$  座標値から上面の真円の半径以上異なる  $z$  座標値  $c_0$  に固定した。つまり、球の式を

$$x^2 + y^2 + z^2 + a x + b y - 2 c_0 z + R = 0$$

として、最小二乗法で係数  $a$ 、 $b$  及び定数項  $R$  を求めた。円柱状物体 18 の上面の真円の中心 533 は、上記球の中心 532 を通り上記平面  $P_a$  の法線ベクトル 537 と同じ方向ベクトルを持つ直線と上記平面の交点を算出することにより求め、その半径 534 は球の半径 535 の二乗から球の中心と真円の中心との距離 536 の二乗を引いた値の平方根として求まる。従って、この場合においても物体 18 の位置・姿勢及び半径を求めることができる。

【0047】図 68～図 70 は、自動組立作業への応用例を示すもので、図 69 に示すように、二つの孔を持つ部品 541 と、二つの突起を有する部品 542 とをロボットで組み立てるにあたり、孔及び突起を検出してこれらの位置・姿勢を検出することで部品 541、542 の位置・姿勢を検出することを行っている。つまりステレオ基準画像のエッジ画像（図 70(a)）や濃度勾配方向画像及び視差画像を作成し、上記エッジ画像から曲線エッジを抽出して図 70(b) に示す 4 つの円エッジを抽出する。この 4 つの円エッジから対応する三次元空間中の 4 つの円の中心の中点・中心間を結ぶ線分の向き・2 つの円で形成される平面の法線の向きを算出することにより、突起を二つ有する部品 542 の位置・姿勢を決定するとともに、残り二つの円で同様の処理を行うことで、孔を二つ有する部品の位置・姿勢を決定する。

【0048】

【発明の効果】以上のように本発明においては、三次元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、この二次元画像の部分画像を特定し、この特定した二次元部分画像を距離画像に適用させて距離画像の部分画像を抽出し、この距離部分画像に対して物体の検出処理を行うことから、つまりは物体の検出処理に際して、二次元画像を利用してあらかじめ距離画像における検出物体の存在領域を限定しておき、この限定した領域の距離部分画像に対して物体の検出処理を行うことから、距離画像の全域で検出処理を行う従来例に比して、検出処理の高速化を図ることができるものである。

【0049】また三次元空間中の物体を撮像して得た距離画像と同一の視点から二次元画像を得て、二次元画像上の対象物体像の慣性主軸及び重心を抽出し、その慣性主軸を通り且つ二次元画像面に垂直な平面に距離画像を投影し、投影面上での対象物体像の慣性主軸及び重心を抽出し、得られた 2 本の慣性主軸及び 2 個の重心から三次元空間中の対象物体の慣性主軸の位置姿勢を検出するものにおいては、三次元空間中の物体の位置姿勢を代表する慣性主軸の位置及び姿勢を容易に検出することが

できるために、やはり検出処理の高速化を図ることができる。

【0050】この時、検出した対象物体の三次元空間中の慣性主軸及び重心と対象モデルの慣性主軸と重心とを一致させ、対象物モデルをその慣性主軸を中心に回転させて、対象物モデルと対象物体との一致度を求めることにより、三次元空間中の対象物体の位置姿勢を検出するようにしても、やはり検出処理の高速化を図ることができる。

【0051】距離画像から指定高さを示す特定領域を抽出し、その領域の二次元画像から部分画像を特定することを前処理として行うならば、更に高速化を図ることができるものとなる。そして、物体の検出処理を行うにあたっては、距離部分画像から得た三次元情報を平面に当てはめて、その平面の法線が撮像座標系の  $Z$  軸に一致するように上記三次元情報を撮像座標系の原点を中心に回転させ、回転後の三次元情報を上記座標系の  $X-Y$  平面に投影して、投影画像と予め登録されているモデルとの照合により、対象物体の仮の位置・姿勢を求め、これを上記回転前に戻して、対象物体の位置・姿勢を算出することが好ましく、このようにすることで、精度をより高く保つことができる。

【0052】更に本願発明の第 3 の特徴とするところによれば、エッジ画像から曲線のエッジのみを抽出して、曲線エッジから更に円を抽出し、抽出した円の各エッジ点の視差から求まる三次元情報を用いて、上記円の位置姿勢を検出することから、円形状を有する物体、たとえば円筒やリング、あるいは任意の形状の物体の円形の物体とが組み合わされた物体が単独あるいは複数ある場合に、これらの位置・姿勢及び大きさを精度良く且つ高速に検出することができる。

【0053】エッジ画像から曲線エッジのみを抽出するにあたっては、基準となるエッジ画像から直線を抽出し、抽出した直線付近のエッジを消去することで、曲線エッジの抽出効率を高くすることができ、特に、基準となるエッジ画像から直線を抽出し、抽出した直線付近のエッジで且つ濃度勾配の向きと直線方向ベクトルとのなす角が  $90^\circ$  に近いエッジを消去することで曲線のエッジのみを抽出するならば、曲線エッジとして残すべき部分まで消去してしまうおそれが少なくなるために、精度を高くすることができる。

【0054】基準となるエッジ画像から曲線のエッジのみを抽出するにあたっては、基準となるエッジ画像中において任意のエッジ点を注目エッジ点とし、この注目エッジ点の周囲点に次のエッジ点を探索して、探索したエッジ点の濃度勾配の向きと上記注目エッジ点の濃度勾配の向きの差が一定値以下となるエッジ点を次の注目エッジ点として登録する処理を、注目エッジ点の周囲点に次の注目エッジ点が発見できなくなるまで続けて、急激な湾曲をもたない曲線あるいは直線のエッジにグループ化

し、同一グループ内のエッジ点の分布から曲線のエッジのみを抽出すると、曲線エッジの中でも必要とする曲線エッジのみの抽出を効率よく行うことができる。

【0055】抽出された曲線エッジの中で視差が算出されているエッジ点の数あるいは割合が一定値以上となる曲線エッジを抽出し、ここから円を抽出すると、必要な円の抽出を効率よく行うことができ信頼性を向上させることができる。そして抽出された曲線エッジに円を最小二乗法で当てはめてその中心を算出するとともに、曲線エッジの任意のエッジ点から円の中心に向かう方向と、上記任意のエッジ点における濃度勾配の向きとの差が一定値以下または一定値以上となる曲線エッジを抽出し、ここから円を抽出する時には、物体がリング状であって曲線エッジの数が多い時にも、必要とする円エッジのみを、つまり外側円エッジまたは内側円エッジのいずれか一方のみを抽出することができるために、リング状物体の認識も可能となる上に処理の高速化を図ることができる。

【0056】抽出した任意の曲線エッジの組み合わせによって円を構成するにあたっては、画像上において曲線エッジ間の距離が小さいものから順に組み合わせるとともに、一定距離以上のものは組み合わせずに円を構成すると、誤った組み合わせが生じてしまうことを未然に防ぐことができ、組み合わせた曲線エッジの二次元データから最小二乗法で円を求めて組み合わせた曲線エッジ上の各点が求めた円から一定距離以内にある時のみ、組み合わせた曲線エッジが同一円上に存在するとして円を構成した時には、誤った組み合わせが生じるおそれを軽減することができるとともに、明らかに同一円でない曲線エッジの組み合わせを排除することができる。

【0057】また、円の構成が可能とされた二つの曲線エッジに対して、第1の曲線エッジ上の任意の2点と第2の曲線エッジ上の任意の1点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成される平面と、第2の曲線エッジ上の任意の2点と第1の曲線エッジ上の任意の1点の各点の視差から求まる三次元情報を用いて形成される平面との各法線の向きの差が一定値以内となる場合のみ、上記二つの曲線エッジを同一円上に存在するとして円を構成したりすることによって、誤った曲線エッジの組み合わせで円を構成してしまうことが無くなるために、信頼性が向上する。

【0058】抽出した円エッジの中心位置や半径を求めるにあたっては、円エッジ上の各点の三次元情報を用いて円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面の法線が基準座標系のZ軸に一致するように上記三次元情報を撮像座標系の原点を中心に回転させ、回転後の円エッジのx、y座標値を用いてその円の中心・半径を最小二乗法で算出し、算出した中心座標を回転前に戻すことで行うのが精度及び処理速度の点で好ましく、的確に上記値を算出することができる。

【0059】この時、円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面から三次元空間中において一定距離以上の点に対応する円エッジ点を取り除いた後、円の中心・半径を算出したり、円エッジが当てはまる平面を求めて、この平面から三次元空間中において一定距離以上の点に対応する円エッジ点を取り除いた後、残る円エッジ点で構成される円エッジが当てはまる平面を再度求めてこの平面を回転させたりするならば、誤差の大きいデータを除去することができるために、より正確な算出を行うことができるものとなる。

【0060】抽出した円エッジを三次元空間で平面と球とに当てはめて、平面と球の交差する面上に形成される球の断面である真円の中心位置及び半径を算出してもよく、この場合、処理が簡単となるために、処理時間が短くてすむものであり、物体が真円である円柱状で精度を厳しく追及する必要がなく且つ処理時間を短縮する必要がある場合に適したものとなる。

【0061】検出された円の大きさ・三次元空間中における位置関係により、物体の位置・姿勢を検出認識することで、複数の円形状を有する物体の認識も可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明一実施例における動作を示すフローチャートである。

【図2】同上のための装置のブロック図である。

【図3】検出物体の一例の斜視図である。

【図4】(a)は同上の二次元画像の説明図、(b)は同上の距離画像の説明図である。

【図5】同上の具体例を示すフローチャートである。

【図6】同上の動作説明図である。

【図7】同上の他の具体例を示すフローチャートである。

【図8】同上の動作説明図である。

【図9】同上の別の具体例を示すフローチャートである。

【図10】同上の動作説明図である。

【図11】同上の更に別の例を示すフローチャートである。

【図12】同上の場合の検出物体の一例の正面図である。

【図13】(a)は同上の二次元画像の説明図、(b)は同上の距離画像の説明図である。

【図14】同上の動作説明図である。

【図15】他の実施例のフローチャートである。

【図16】同上の動作説明図である。

【図17】同上の他の動作説明図である。

【図18】別の実施例のフローチャートである。

【図19】更に他の実施例のフローチャートである。

【図20】同上の動作説明図であって、(a)は二次元画像の説明図、(b)は距離画像の説明図である。

【図21】(a)は前処理した後の距離画像の説明図、(b)は前処理した後の二次元画像の説明図である。

【図22】検査に応用した場合のフローチャートである。

【図23】検査対象物の斜視図である。

【図24】(a)は同上の二次元画像の説明図、(b)は同上の距離画像の説明図である。

【図25】位置・姿勢を求める方法の一例のフローチャートである。

【図26】対象物体の例の斜視図である。

【図27】同上の対象物体の上面が当てはめられた平面の説明図である。

【図28】(a)は同上の平面を回転させた状態を示す説明図、(b)はテンプレート画像の説明図である。

【図29】対象物体が円柱状である場合の装置のブロック図である。

【図30】同上の対象物体の一例の斜視図である。

【図31】(a)はステレオ基準画像のエッジ画像の説明図、(b)は視差画像の説明図である。

【図32】(a)はエッジ画像の一例の説明図、(b)は抽出した曲線エッジの説明図、(c)は抽出した円エッジの説明図である。

【図33】同上の処理のフローチャートである。

【図34】他例における撮像時の状態を示す斜視図である。

【図35】同上における物体の斜視図である。

【図36】(a)は同上におけるエッジ画像の説明図、(b)は抽出した円エッジの説明図である。

【図37】同上における処理のフローチャートである。

【図38】別の例における撮像時の状態を示す斜視図である。

【図39】同上における物体の斜視図である。

【図40】(a)は同上におけるエッジ画像の説明図、(b)はチャートした円エッジの説明図である。

【図41】同上における処理のフローチャートである。

【図42】他の実施例における処理のフローチャートである。

【図43】(a)は同上におけるエッジ点探索の説明図、(b)は抽出した急激な湾曲を持たないエッジの説明図である。

【図44】同上における曲線エッジ抽出の説明図である。

【図45】(a)は同上によって抽出した曲線エッジの説明図、(b)は抽出した円エッジの説明図である。

【図46】別の実施例における処理のフローチャートである。

【図47】(a)は抽出した曲線エッジの説明図、(b)は同上によって更に抽出した曲線エッジの説明図、(c)は抽出した円エッジの説明図である。

【図48】異なる実施例の処理のフローチャートである。

【図49】同上における物体の斜視図である。

10 【図50】(a)はエッジ画像の説明図、(b)は抽出した曲線エッジの説明図、(c)は同上の処理によって抽出した曲線エッジの説明図である。

【図51】同上における曲線エッジの選択処理の説明図である。

【図52】更に他の実施例の処理のフローチャートである。

【図53】同上における物体の斜視図である。

【図54】(a)は同上におけるエッジ画像の説明図、(b)は抽出した円エッジの説明図である。

【図55】別の実施例の処理のフローチャートである。

20 【図56】同上における抽出処理の説明図である。

【図57】更に別の実施例の処理のフローチャートである。

【図58】同上における物体の斜視図である。

【図59】(a)は同上におけるエッジ画像の説明図、(b)は抽出した円エッジの説明図である。

【図60】同上における円エッジの抽出処理の説明図である。

【図61】他の実施例の処理のフローチャートである。

30 【図62】同上の対象物体の上面が当てはめられた平面の説明図である。

【図63】同上の平面を回転させた状態を示す説明図である。

【図64】別の実施例の処理のフローチャートである。

【図65】更に他の実施例の処理のフローチャートである。

【図66】更に別の実施例の処理のフローチャートである。

【図67】同上における処理の説明図である。

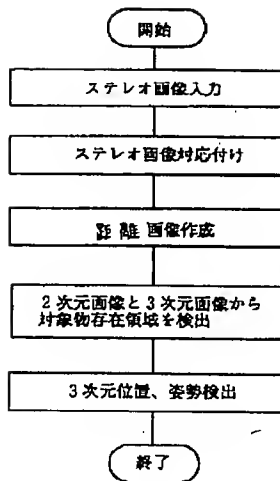
40 【図68】組立制御への応用例におけるフローチャートである。

【図69】同上における物体の斜視図である。

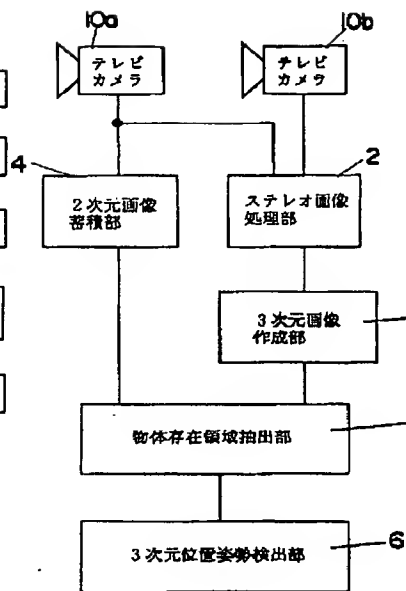
【図70】(a)は同上におけるエッジ画像の説明図、(b)は抽出した円エッジの説明図である。

【図71】ソーベルオペレータの説明図である。

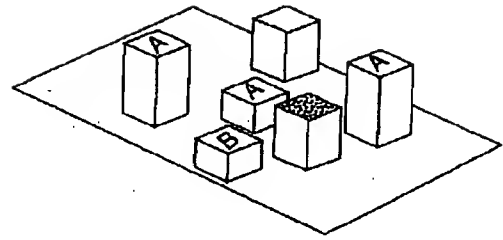
【図1】



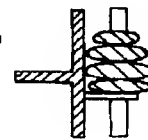
【図2】



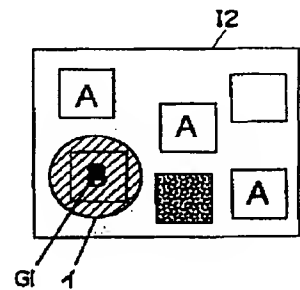
【図3】



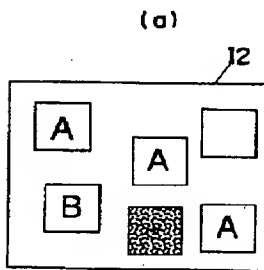
【図12】



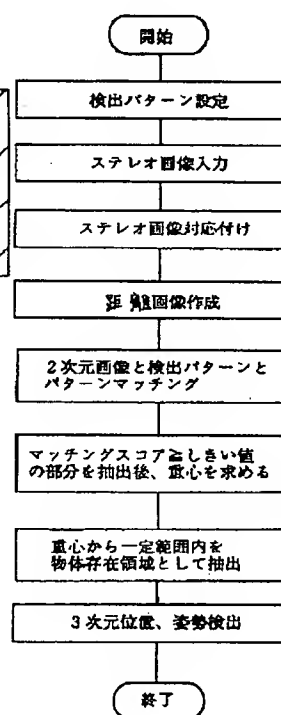
【図6】



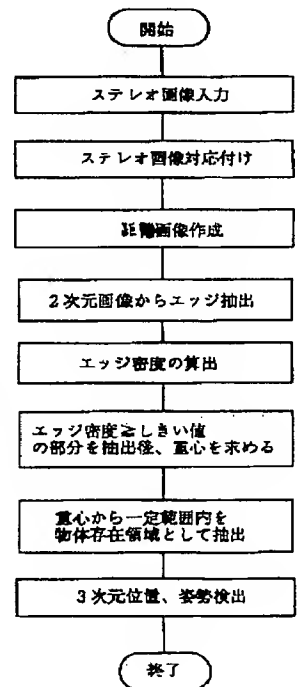
【図4】



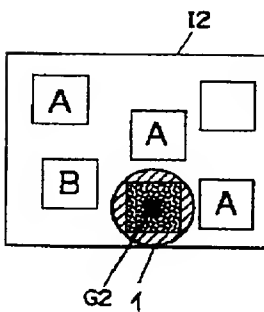
【図5】



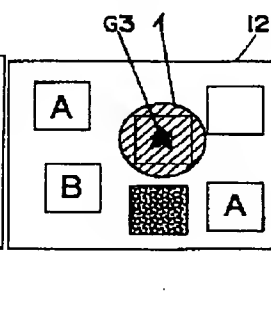
【図7】



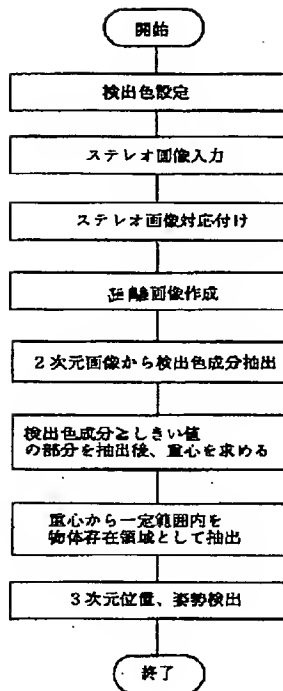
【図8】



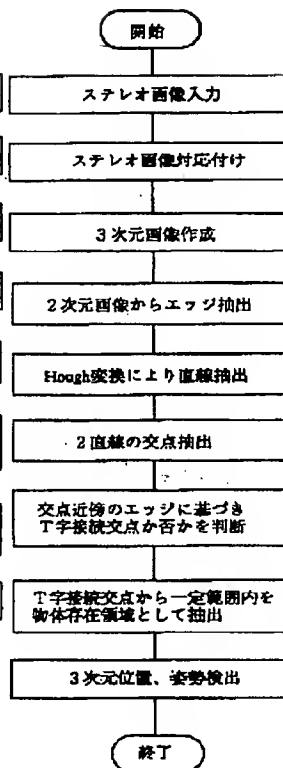
【図10】



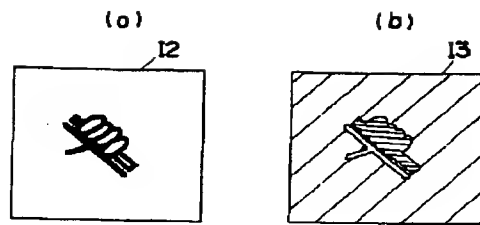
【図9】



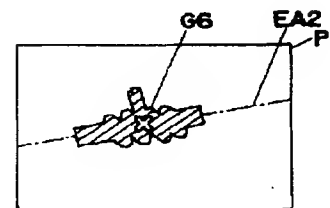
【図11】



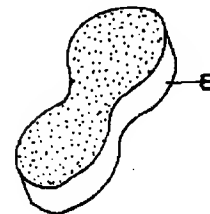
【図13】



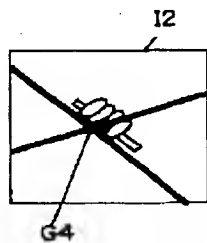
【図17】



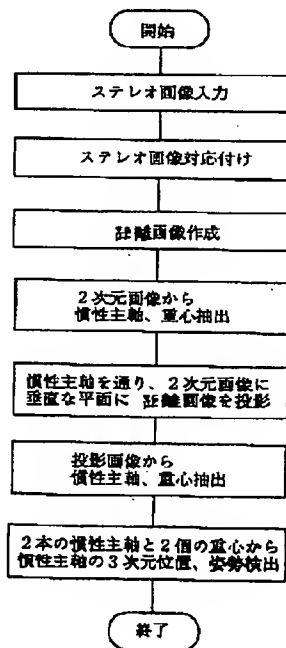
【図26】



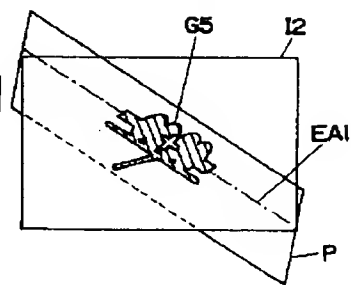
【図14】



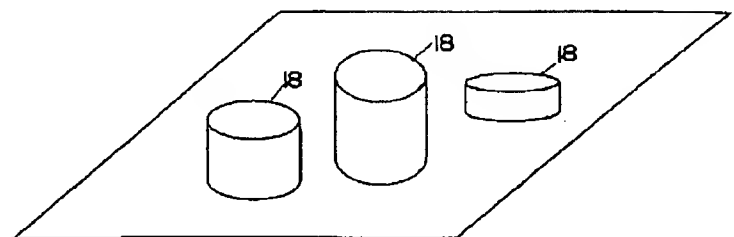
【図15】



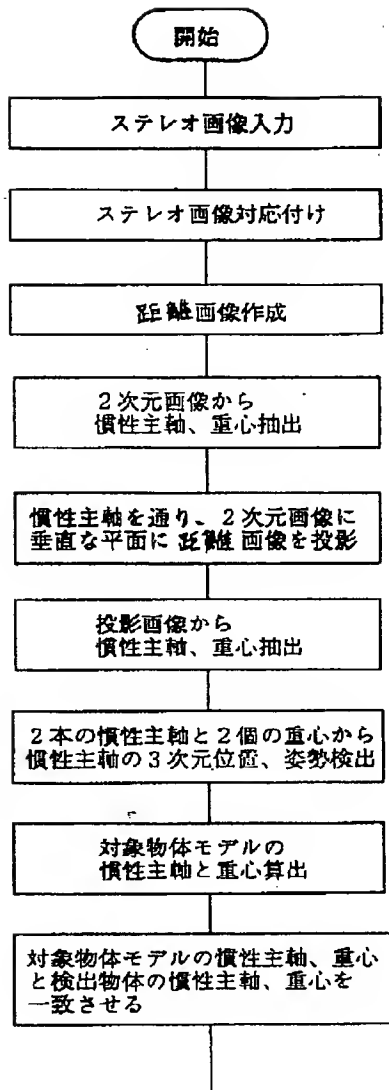
【図16】



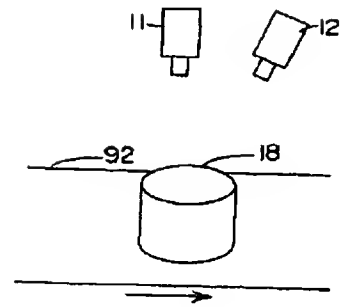
【図30】



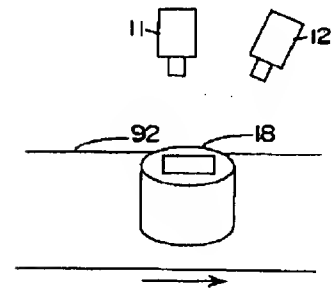
【図18】



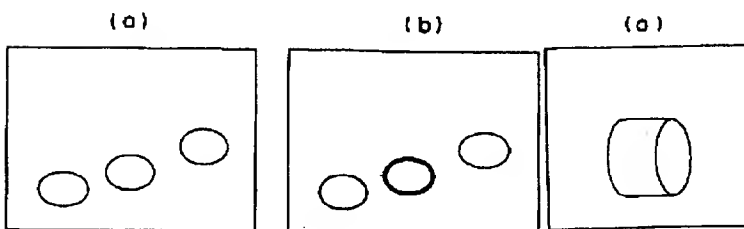
【図34】



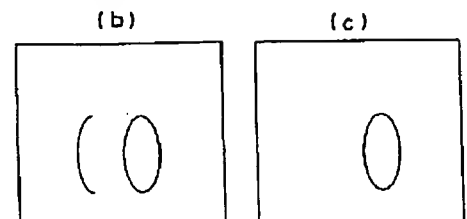
【図38】



【図31】

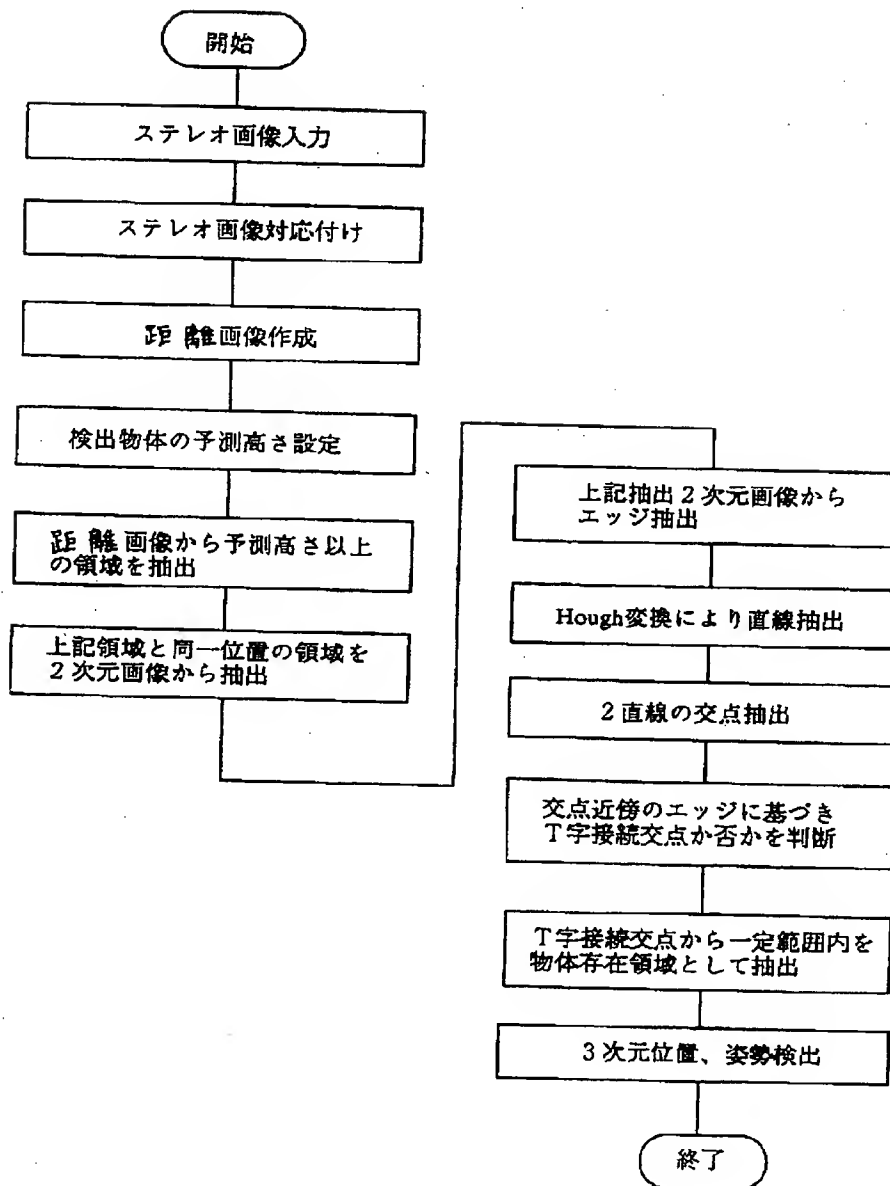


【図32】

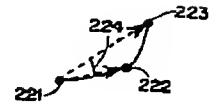




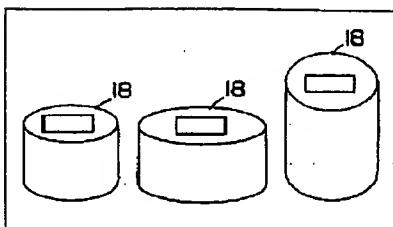
【図19】



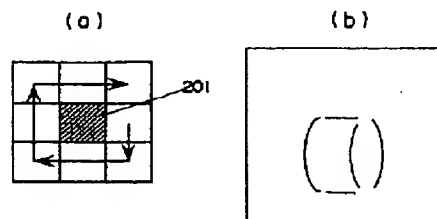
【図44】



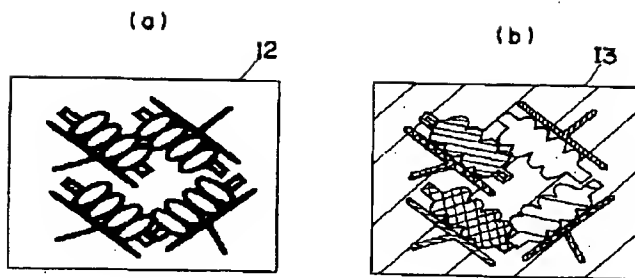
【図39】



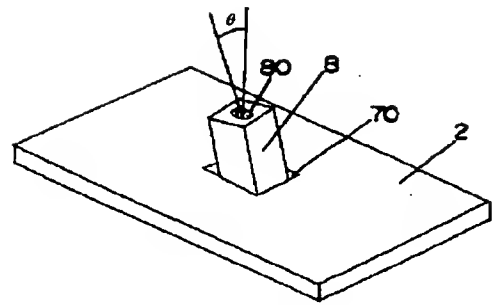
【図43】



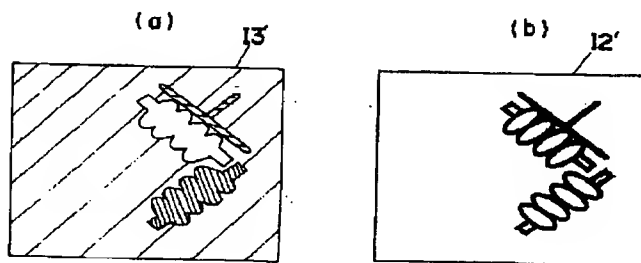
【図20】



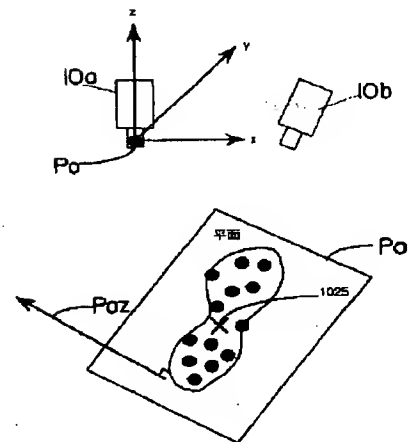
【図23】



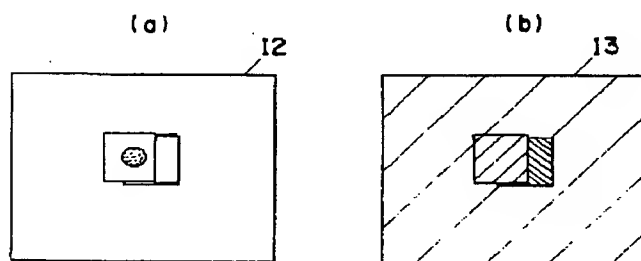
【図21】



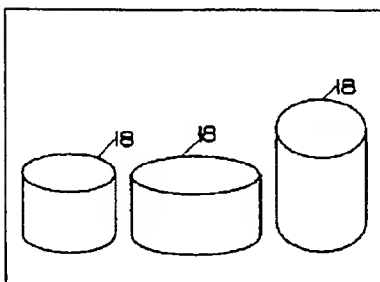
【図27】



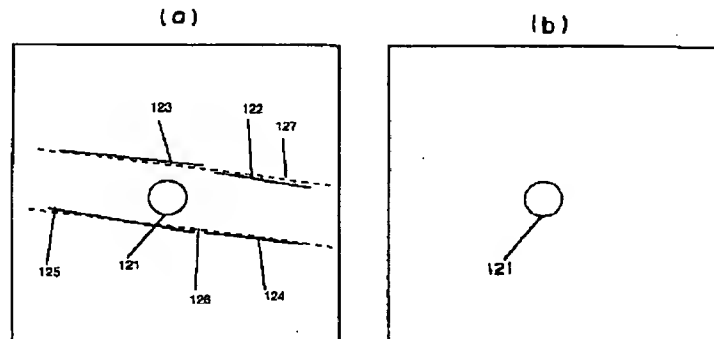
【図24】



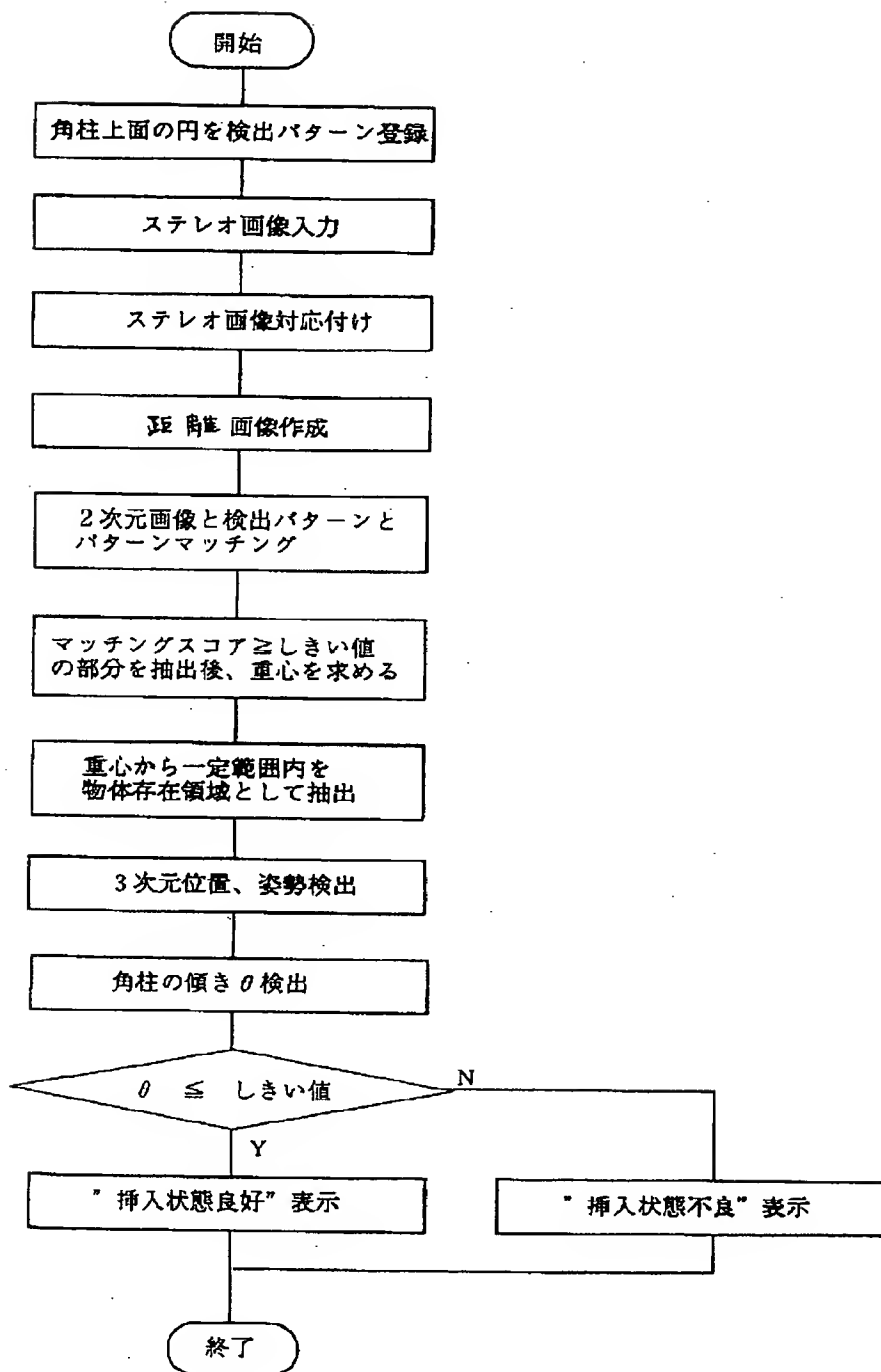
【図35】



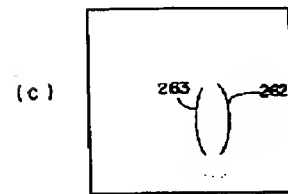
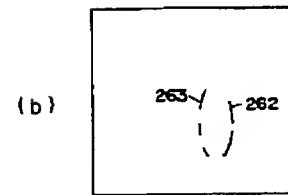
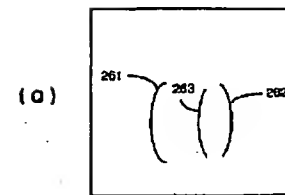
【図36】



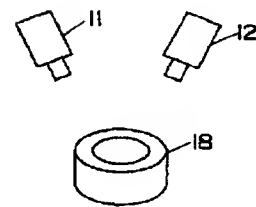
【図 22】



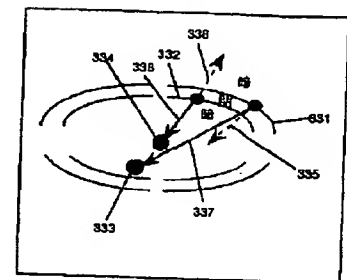
【図 47】



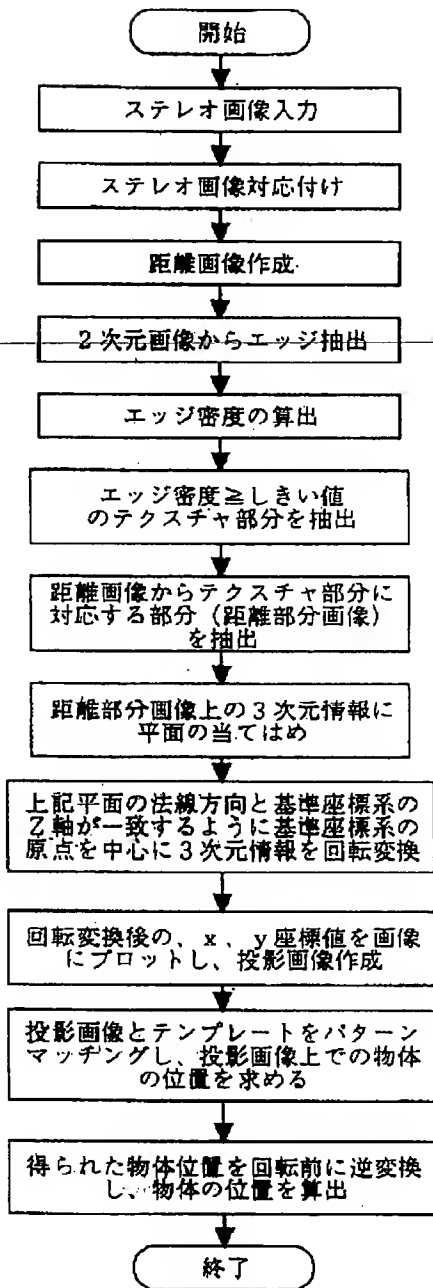
【図 49】



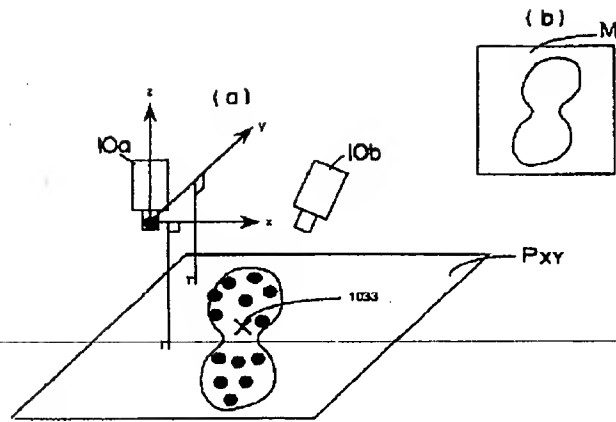
【図 51】



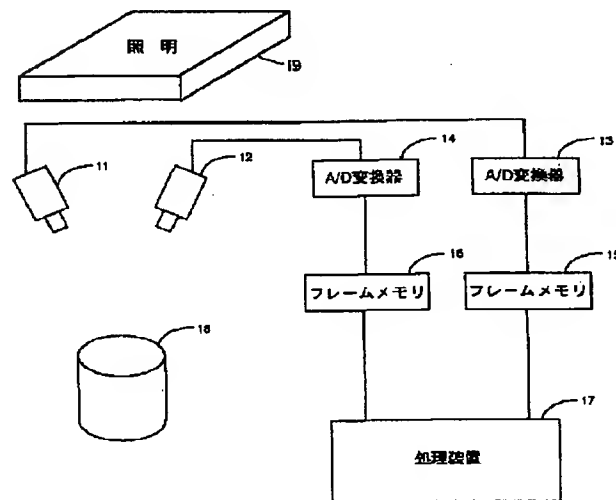
【図 25】



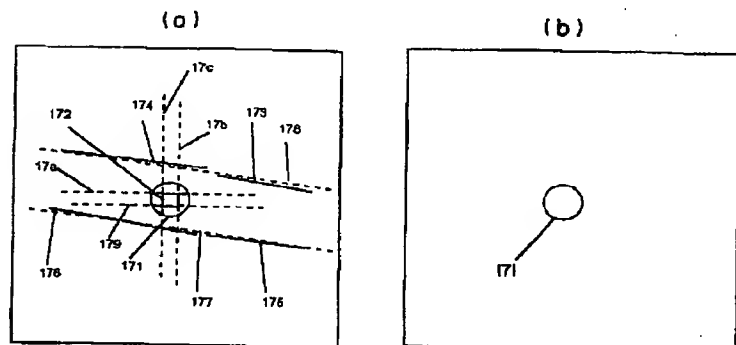
【図 28】



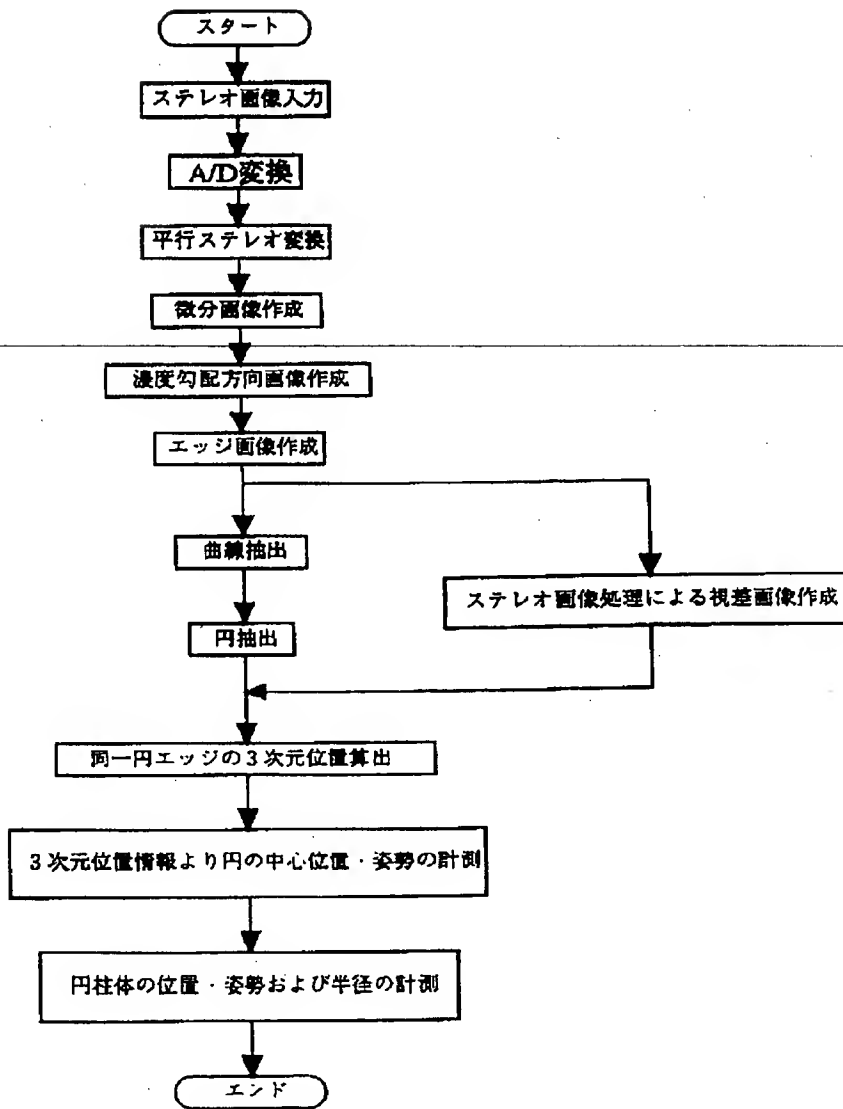
【図 29】



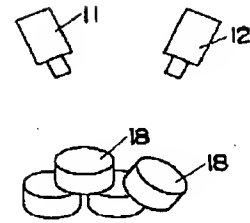
【図 40】



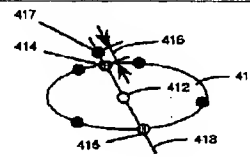
【図33】



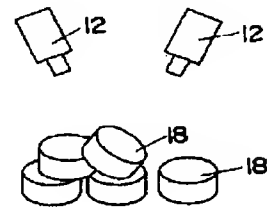
【図53】



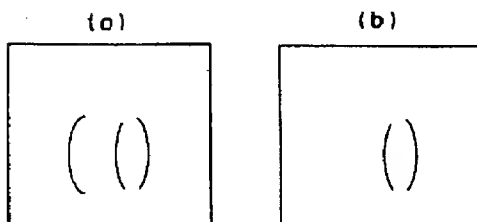
【図57】



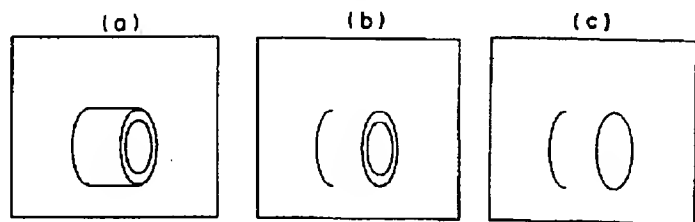
【図58】



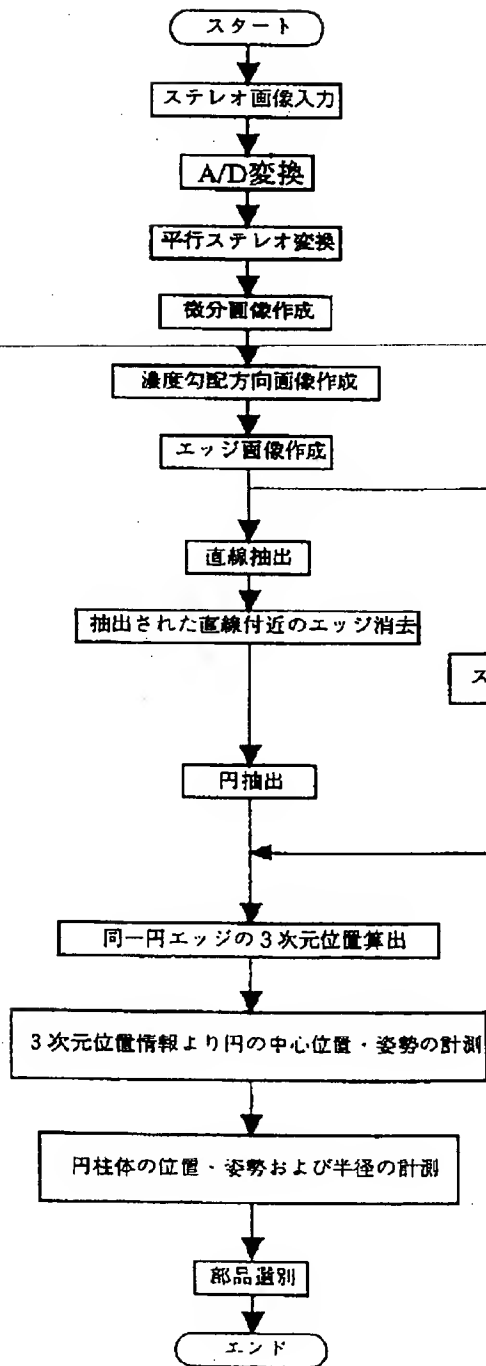
【図45】



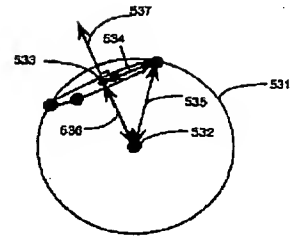
【図50】



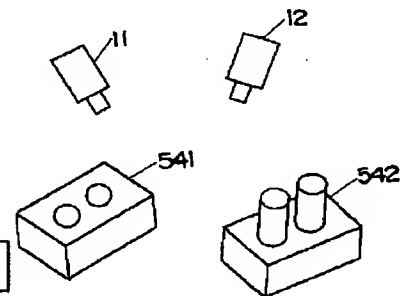
【図37】



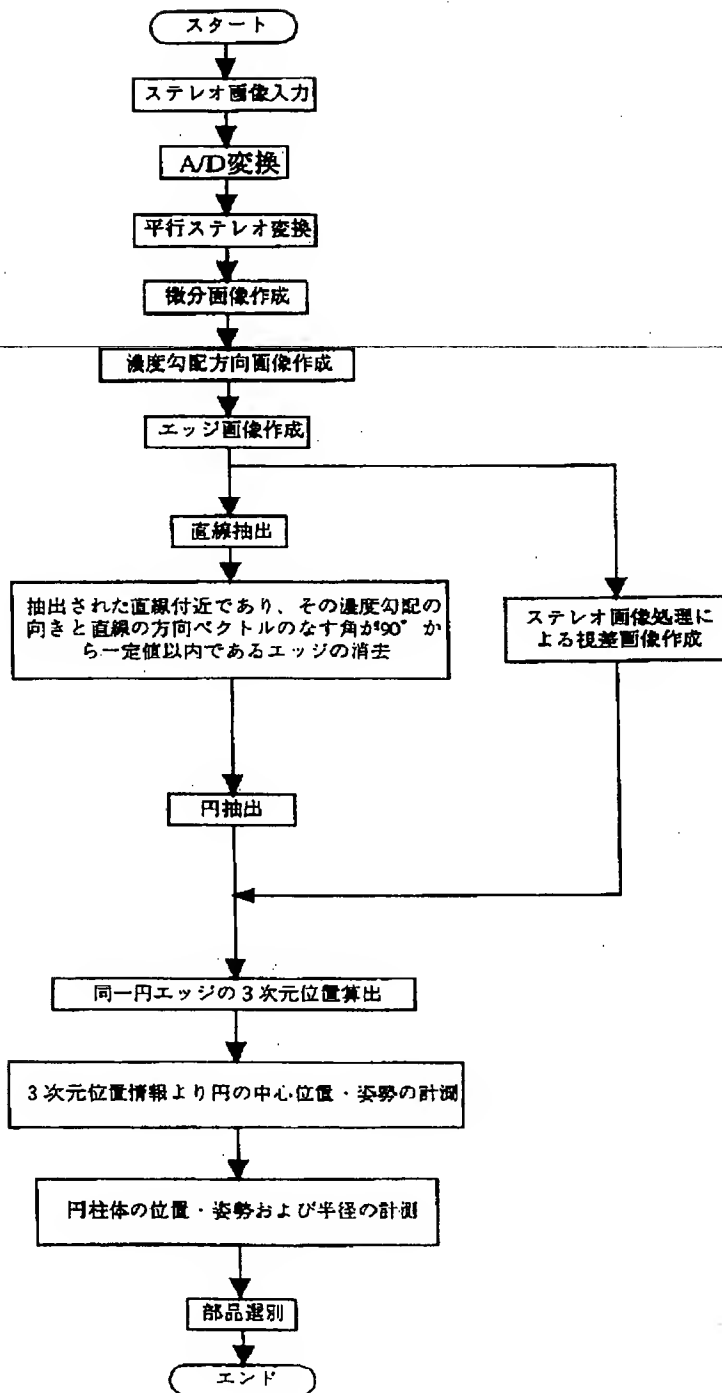
【図67】



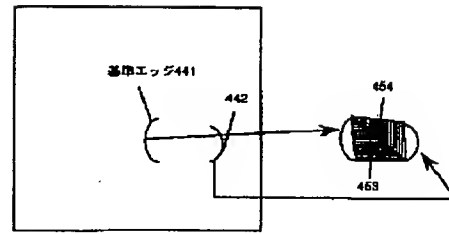
【図69】



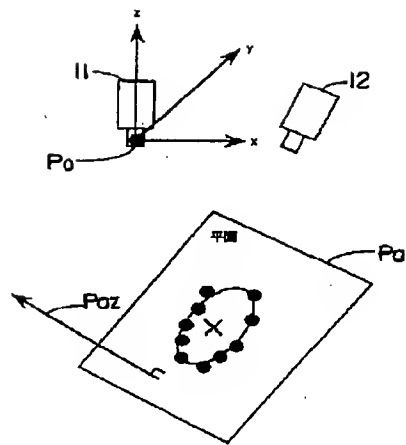
【図 41】



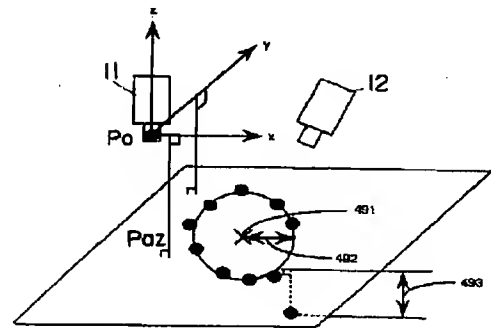
【図 60】



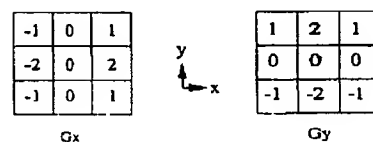
【図 62】



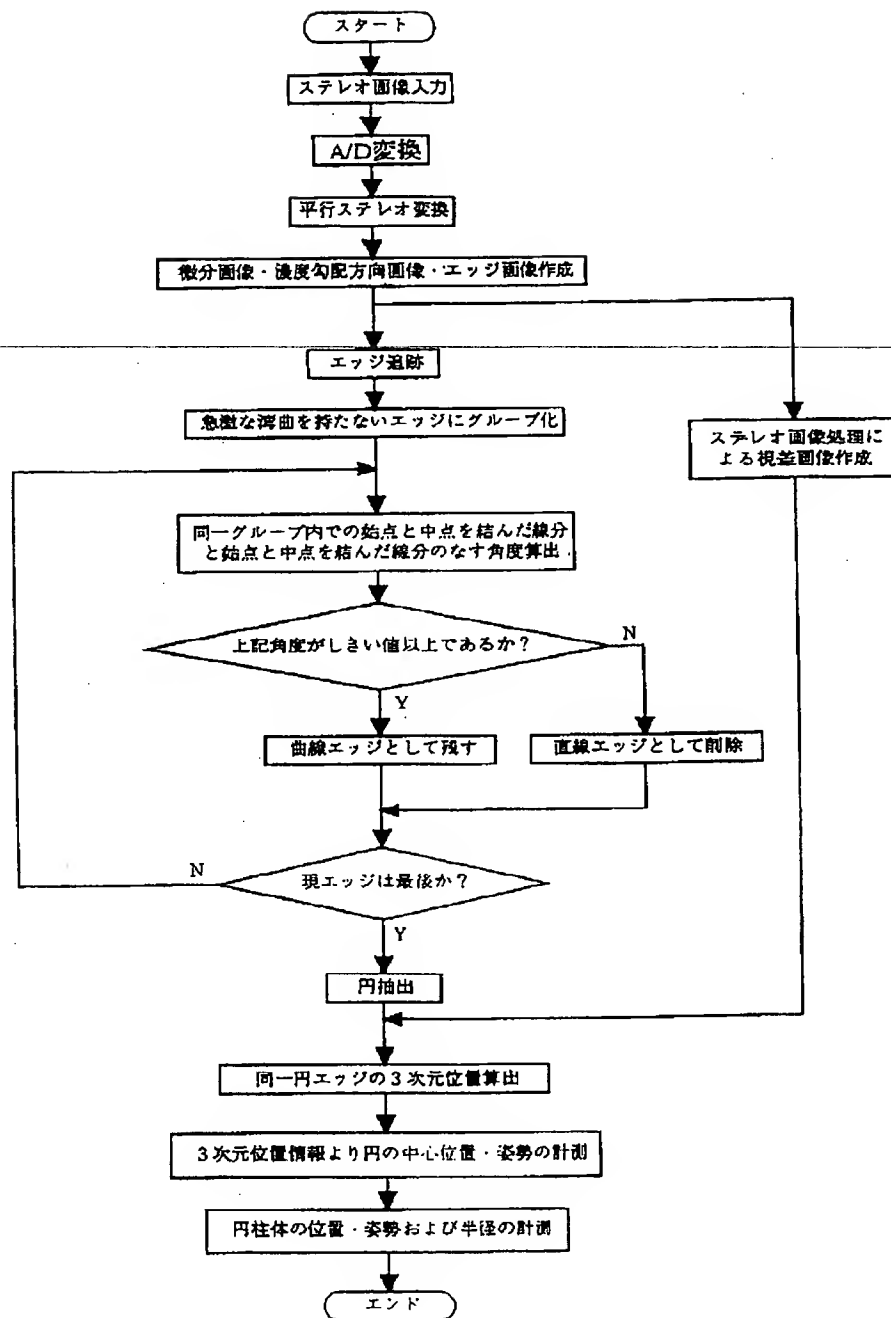
【図 63】



【図 71】

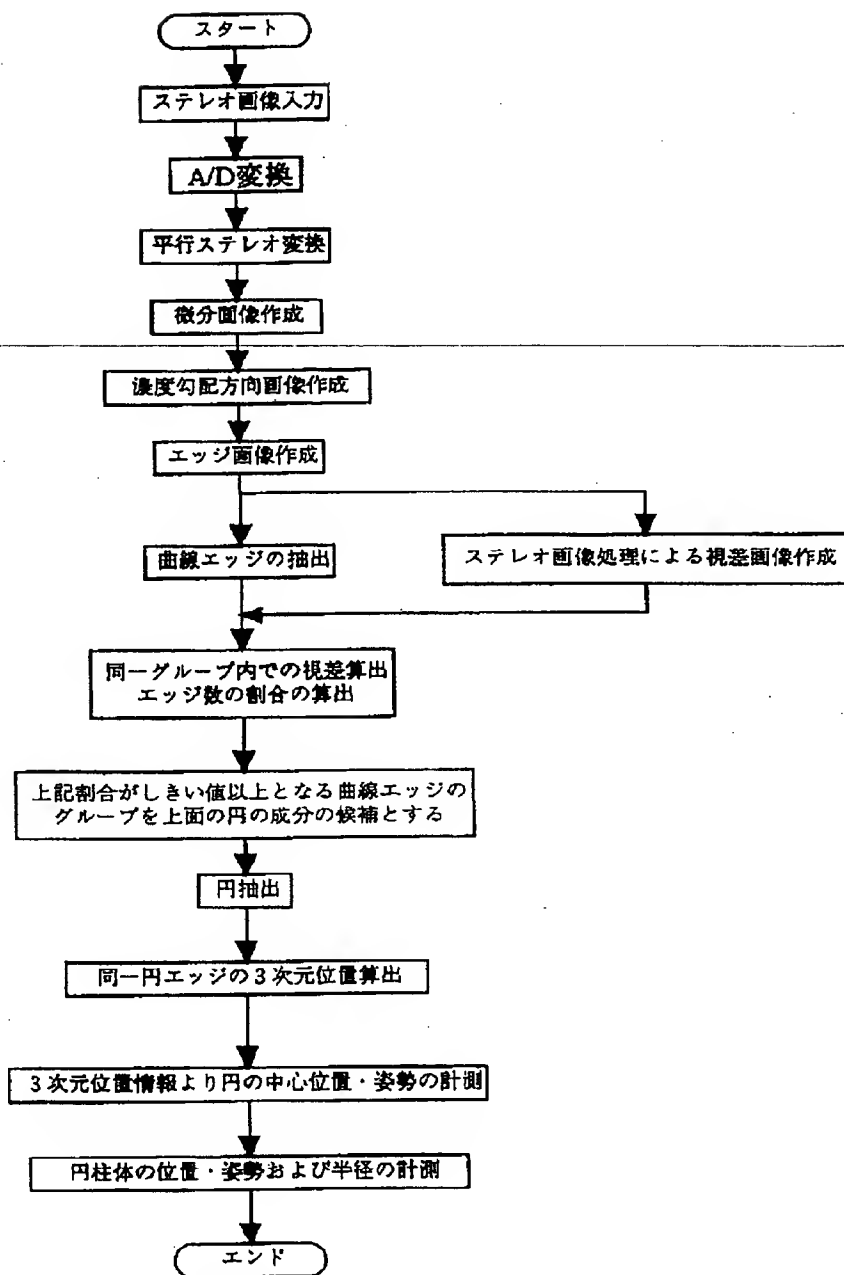


【図42】

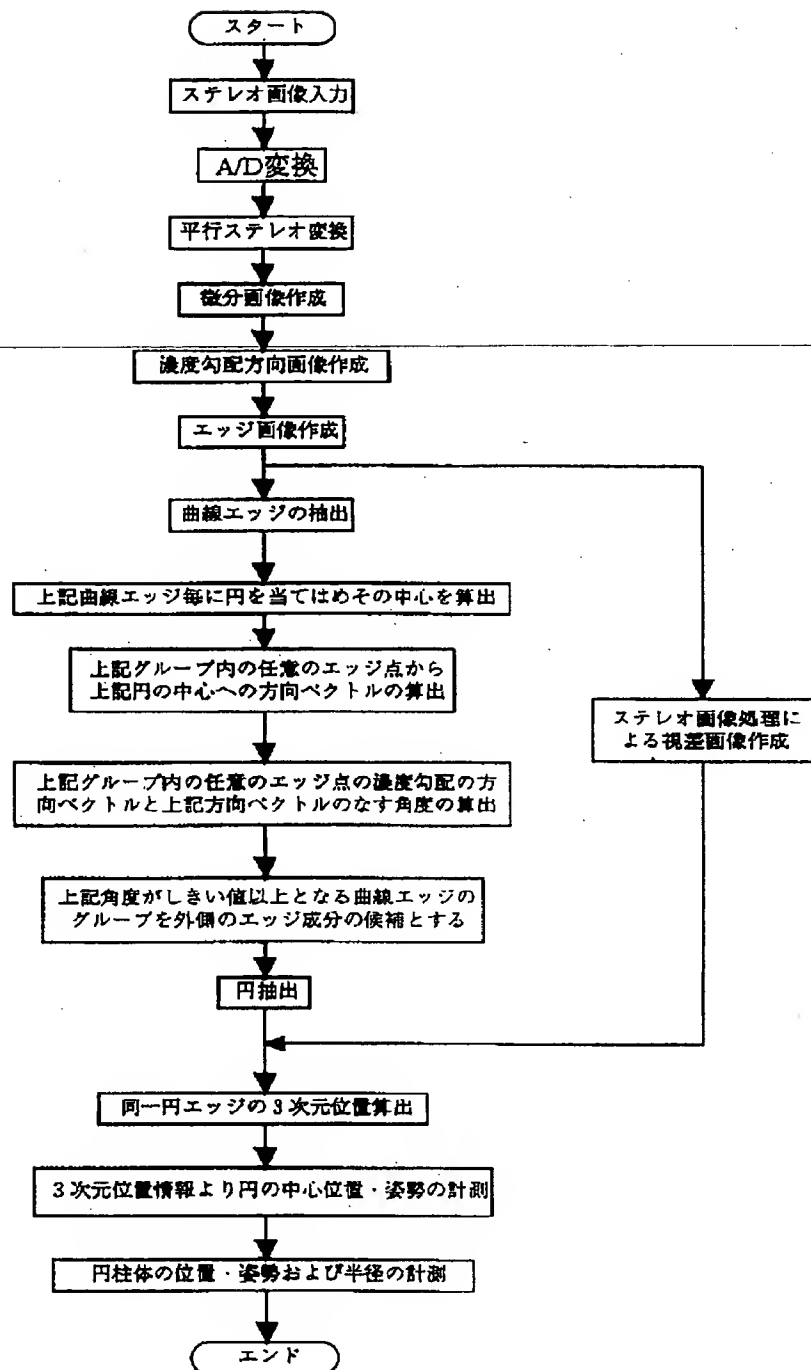




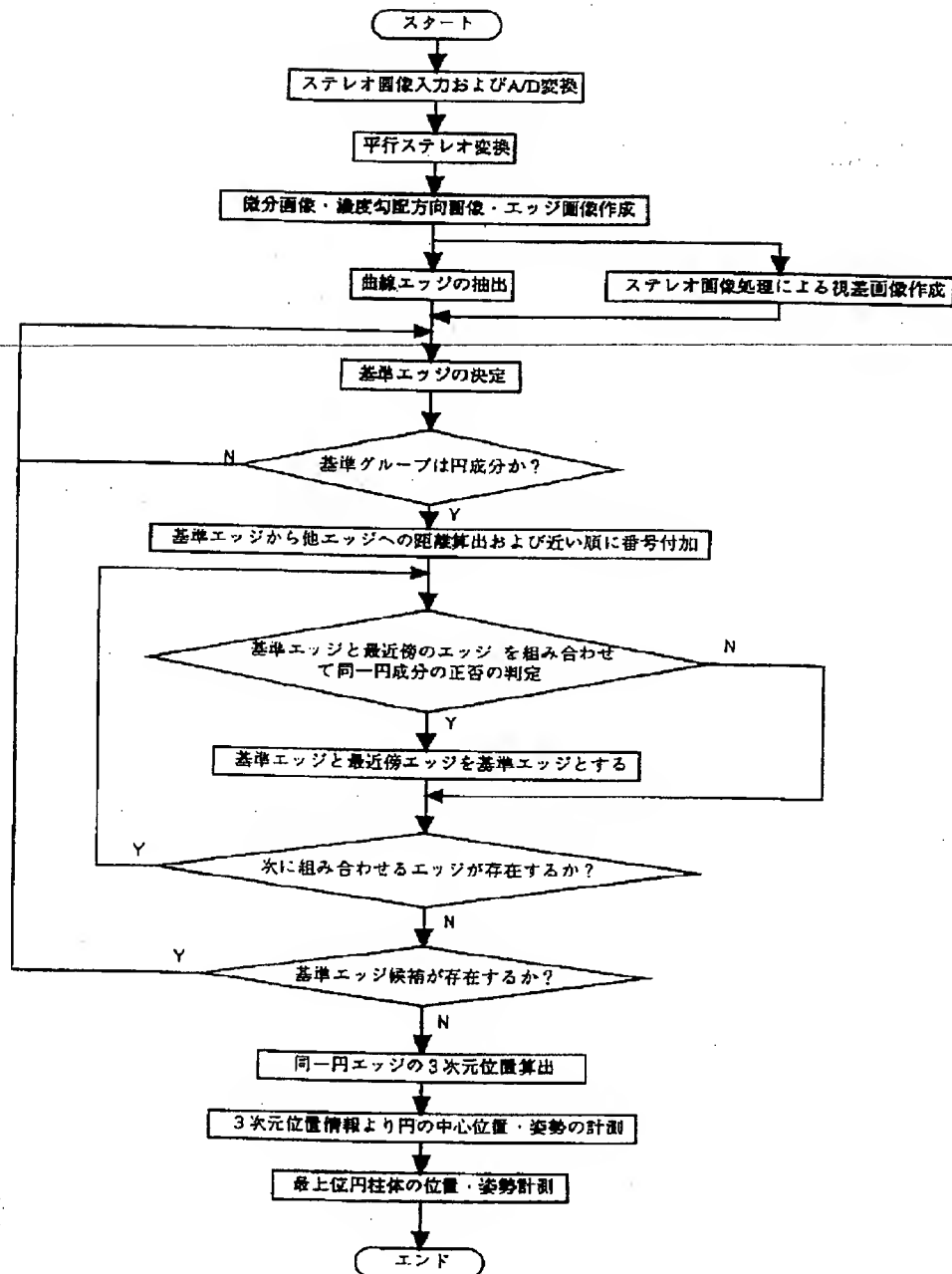
【図46】



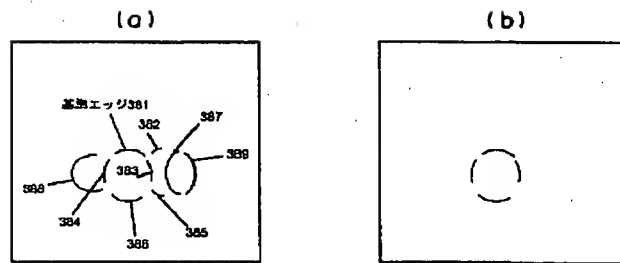
【図48】



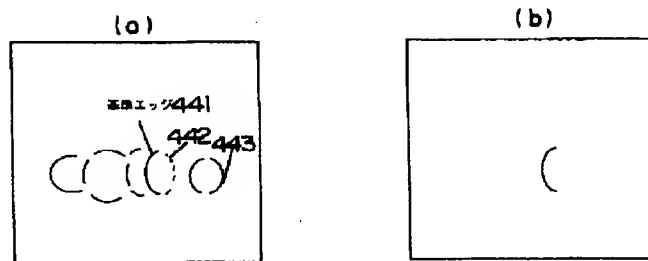
【図52】



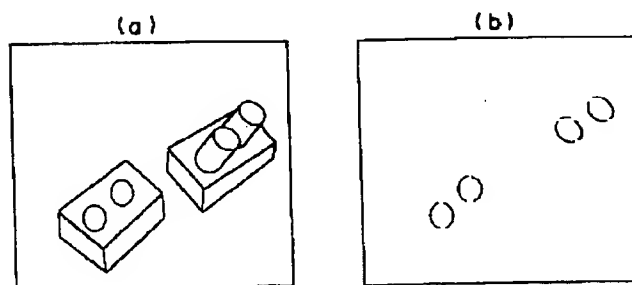
【図54】



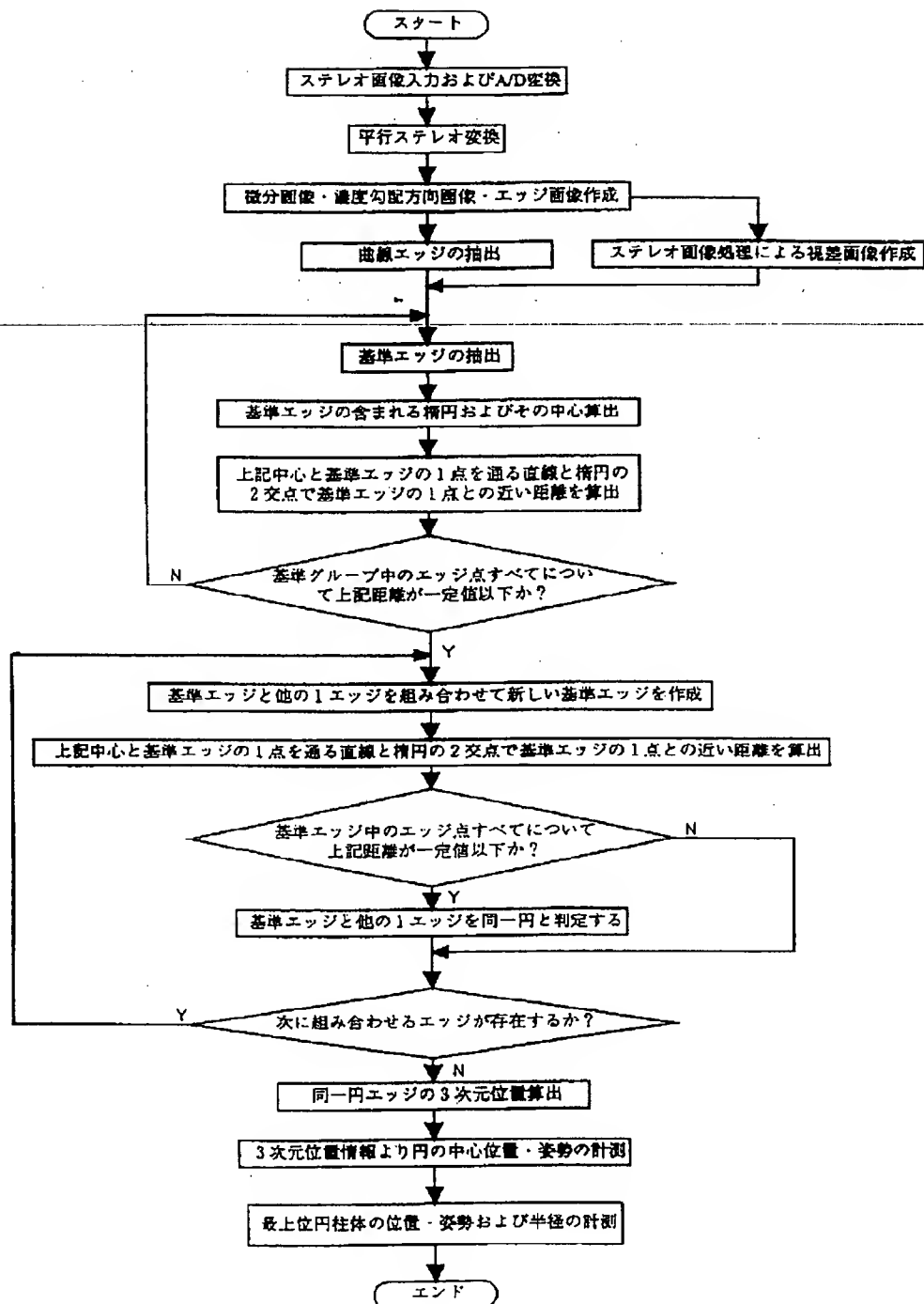
【図59】



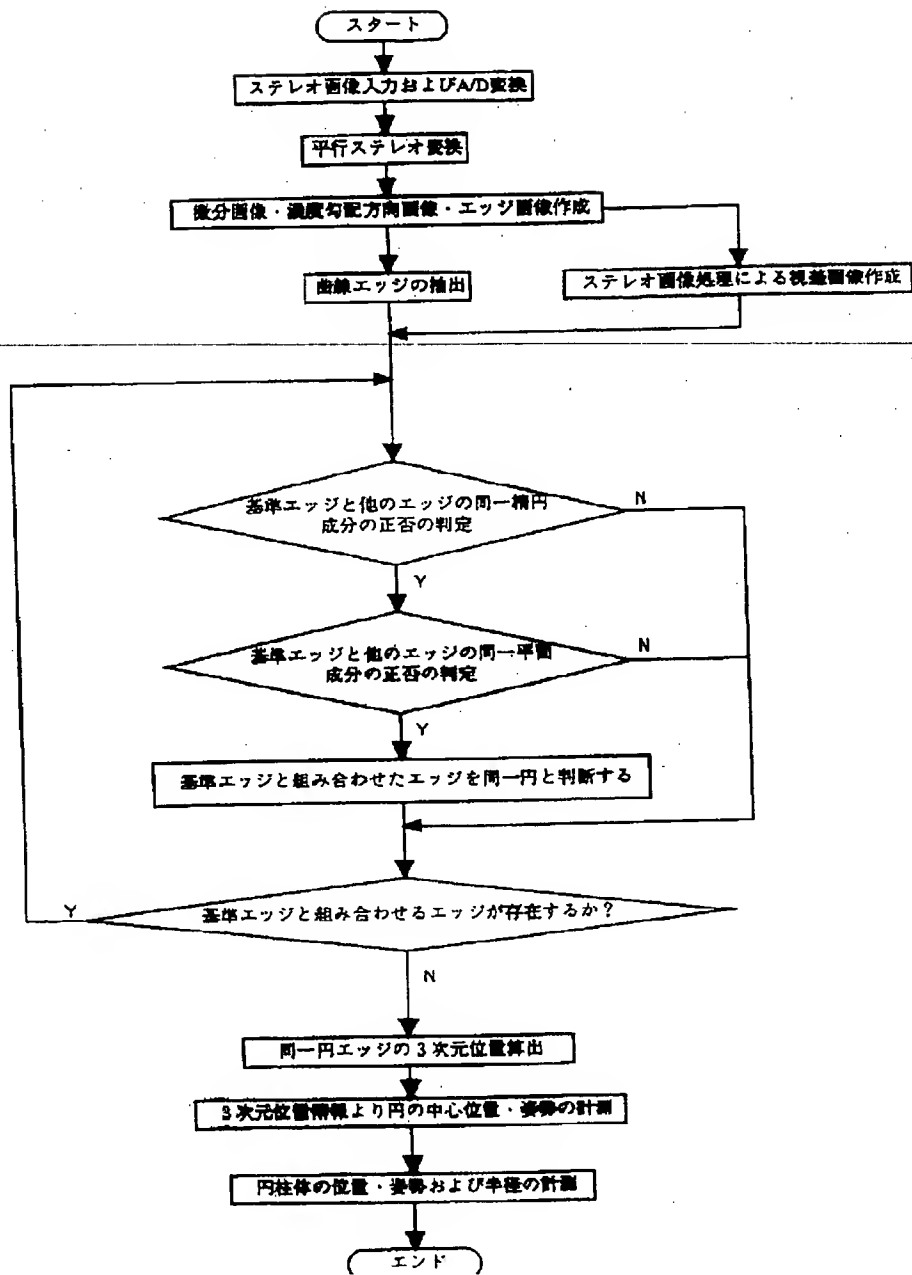
【図70】



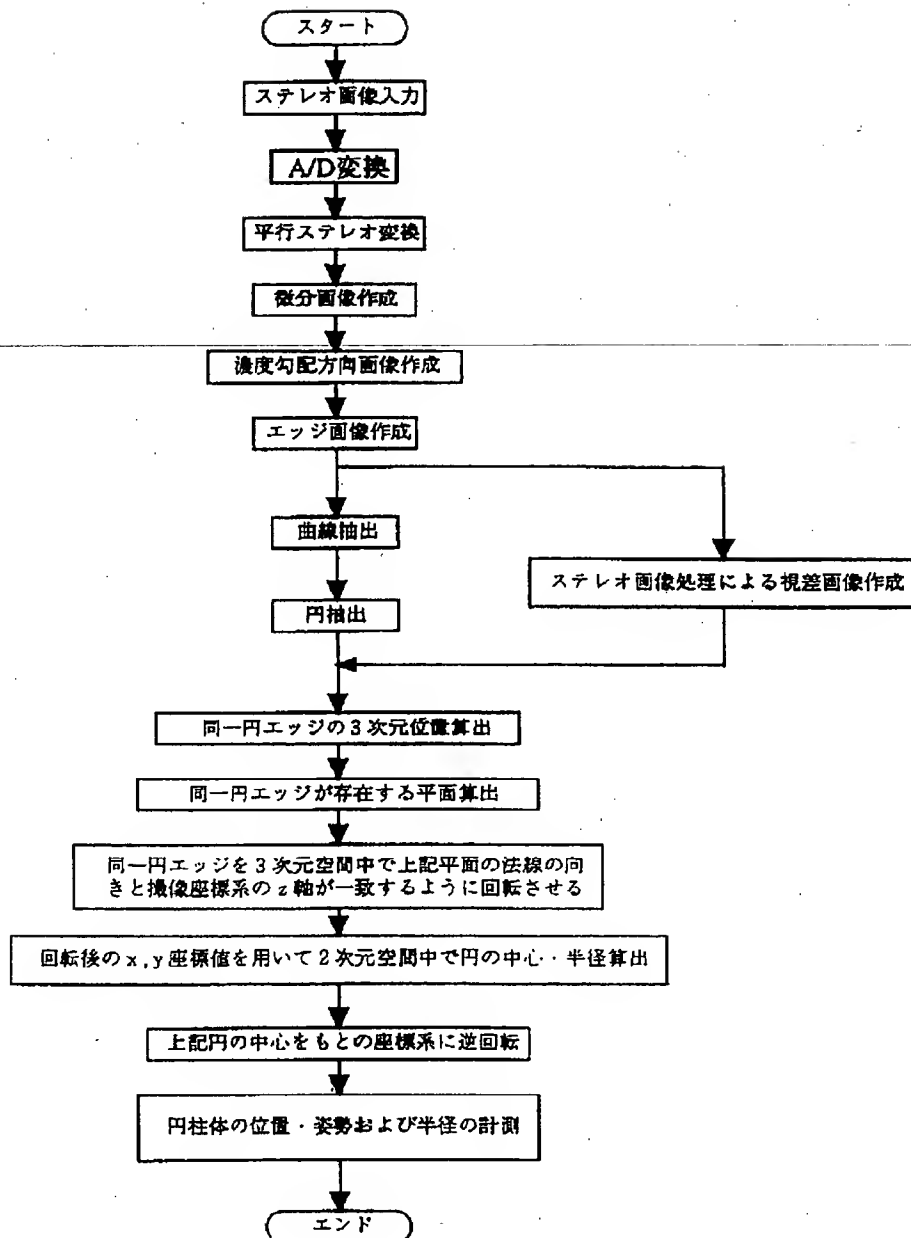
【図55】



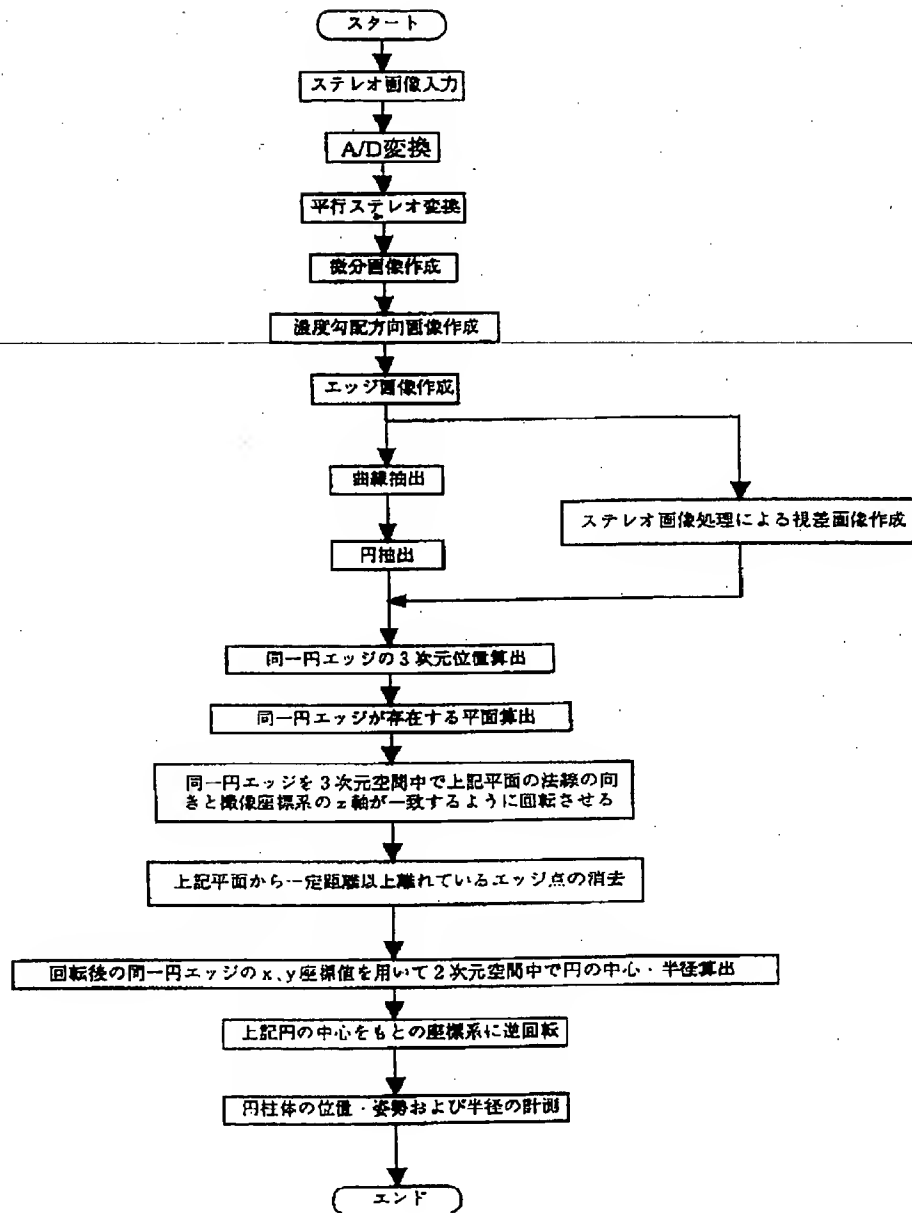
【図 56】



【図61】

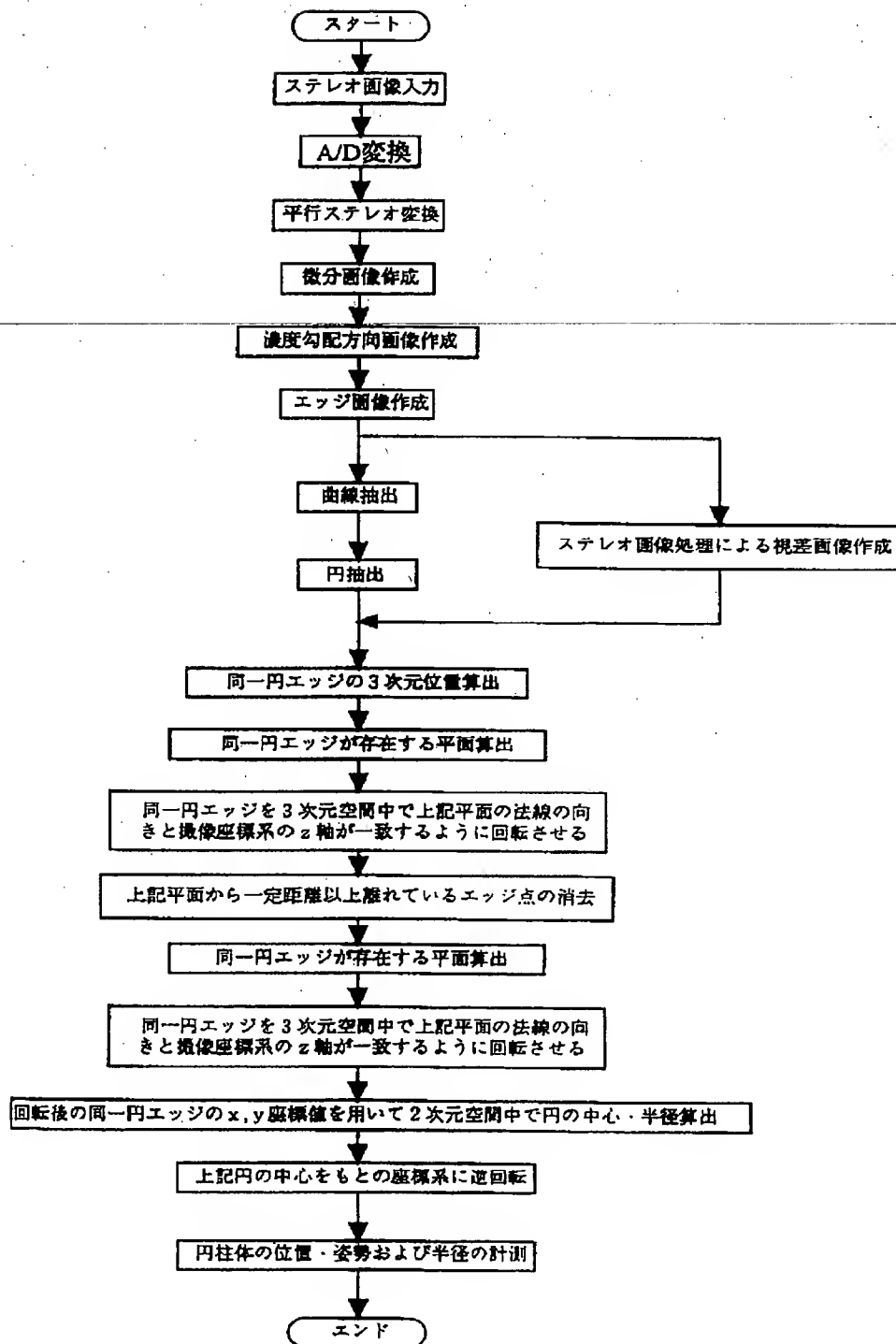


【図64】

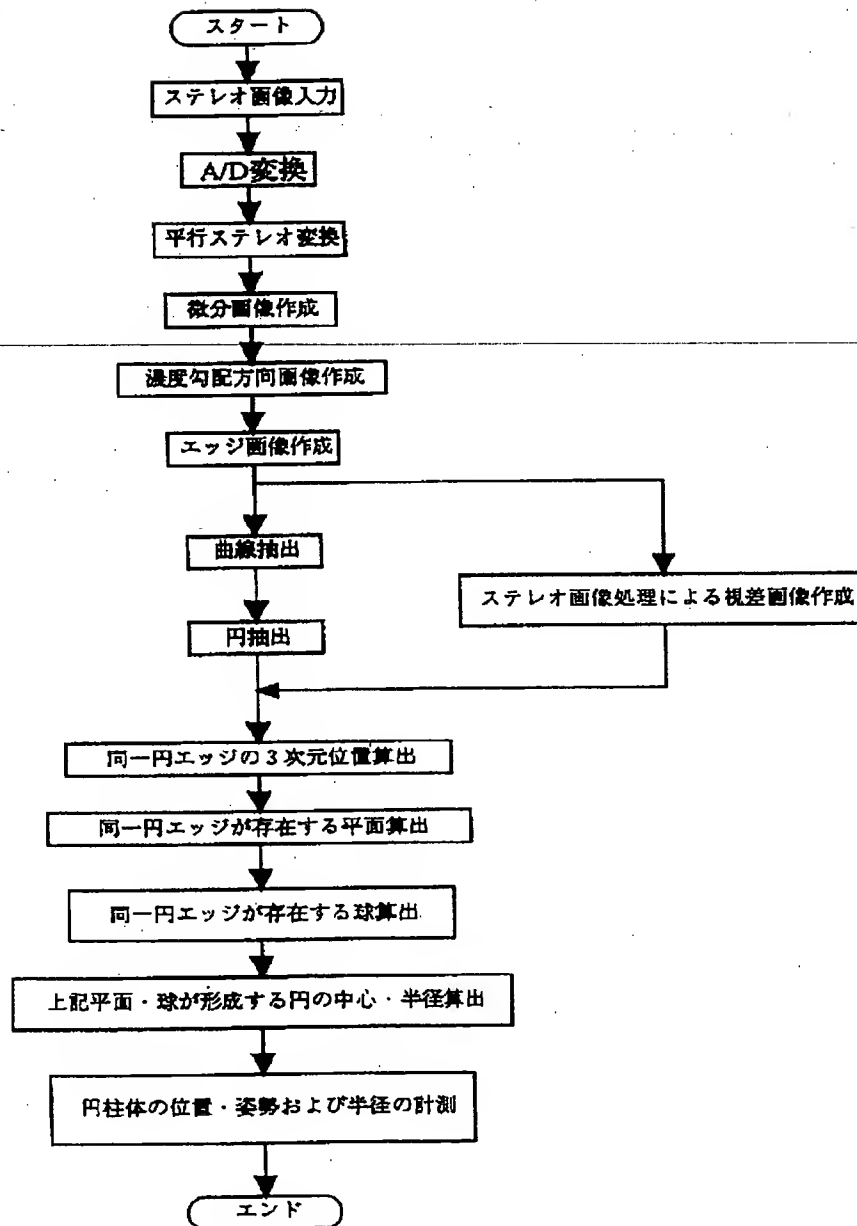




【図65】



【図66】



【図68】

